

Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue  
et  
Université de Sherbrooke

**Effet de l'exercice aérobie sur la capacité aérobie, la fatigabilité et  
l'attention chez des personnes ayant subi un traumatisme cranio-cérébral**

Par  
Patrice Voyer  
Département des sciences de la santé

Mémoire présenté au Département des sciences de la santé de l'Université du  
Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT) et à la Faculté de médecine et des  
sciences de la santé de l'Université de Sherbrooke  
en vue de l'obtention du grade de maître ès sciences (M. Sc.) en sciences  
cliniques

Rouyn-Noranda, Québec, Canada  
Mai 2012

Membres du jury d'évaluation  
Nancy Julien, Ph. D., directrice, département des sciences de la santé – UQAT  
Jean-Charles Perron, Ph. D., membre interne, département des sciences de la  
santé – UQAT  
Alain Leroux, Ph. D., membre externe, Department of Exercise Science –  
Concordia University



# BIBLIOTHÈQUE

Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue  
Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

## **Mise en garde**

La bibliothèque du Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue et de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue a obtenu l'autorisation de l'auteur de ce document afin de diffuser, dans un but non lucratif, une copie de son œuvre dans Depositum, site d'archives numériques, gratuit et accessible à tous.

L'auteur conserve néanmoins ses droits de propriété intellectuelle, dont son droit d'auteur, sur cette œuvre. Il est donc interdit de reproduire ou de publier en totalité ou en partie ce document sans l'autorisation de l'auteur.

## **Warning**

The library of the Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue and the Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue obtained the permission of the author to use a copy of this document for non-profit purposes in order to put it in the open archives Depositum, which is free and accessible to all.

The author retains ownership of the copyright on this document. Neither the whole document, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

# **Effet de l'exercice aérobie sur la capacité aérobie, la fatigabilité et l'attention chez des personnes ayant subi un traumatisme cranio-cérébral**

Par  
Patrice Voyer  
Département des sciences de la santé

Mémoire présenté au Département des sciences de la santé de l'UQAT et à la Faculté de médecine et des sciences de la santé de l'Université de Sherbrooke en vue de l'obtention du diplôme de maître ès sciences (M. Sc.) en sciences cliniques, Faculté de médecine et des sciences de la santé, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada, J1H 5N4

Le traumatisme cranio-cérébral (TCC) est une problématique de santé qui a des conséquences physiques, psychologiques, cognitives ainsi que neurologiques et qui affecte la vie socioprofessionnelle de même que personnelle des individus qui en sont victimes. Cette problématique touche 1,7 millions d'Américains par année et est généralement peu connue de la population. Notre étude a mesuré les effets d'un programme d'exercices de type aérobie sur la capacité aérobie, la fatigue ainsi que sur l'attention sélective et partagée auprès de personnes ayant subi un TCC modéré ou sévère. Un devis de recherche quasi-expérimental avant-après avec un groupe témoin non équivalent a été utilisé. Un total de 14 participants, en moyenne 15 ans post TCC, ont été répartis dans un groupe traitement ( $n = 11$ ) et un groupe témoin ( $n = 3$ ). Le traitement consistait en 3 séances d'exercice aérobie de 30 minutes par semaine, pendant 12 semaines. Les mesures sur la capacité aérobie, la fatigue et les fonctions attentionnelles ont été effectuées dans les deux groupes à 0, 6, 12 et 24 semaines. Les participants du groupe traitement ont effectué en moyenne 30 séances d'exercice sur une possibilité de 36 (83%). Après 12 semaines d'exercice, le groupe traitement a obtenu une amélioration significative de la capacité aérobie ( $p < 0,05$ ) et de la fatigue ( $p < 0,01$ ). Les fonctions attentionnelles n'ont pas changées de manière significative, toutefois une tendance positive ( $p = 0,07$ ) a été observée au test du d2 concernant l'attention sélective. Notre étude permet de mettre en évidence la pertinence d'offrir des services de conditionnement physique à long terme pour les personnes ayant subi un TCC. En effet, même plusieurs années post TCC, les participants du groupe traitement avaient toujours une capacité aérobie 30 % plus faible que la norme canadienne attendue pour une personne du même sexe et du même âge sans pathologie et, en seulement 12 semaines, cet écart a été réduit à 6 %. D'autres études chez l'humain sont nécessaires pour préciser comment l'amélioration de la capacité aérobie peut avoir un effet positif dans la réadaptation des troubles cognitifs post TCC. La littérature à ce sujet est insuffisante et les mesures cognitives utilisées dans les études existantes trop différentes pour être comparées entre elles.

Mots clés : traumatisme cranio-cérébral, traumatisme crânien, activité physique, exercice aérobie, capacité aérobie, cognition, fonctions cognitives, fatigue.

## TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES ILLUSTRATIONS.....	v
LISTE DES ABRÉVIATIONS .....	vi
PREMIER CHAPITRE – INTRODUCTION .....	7
1.1 Avant-propos.....	7
1.2 Problématique .....	8
1.2.1 Définition du traumatisme crânio-cérébral.....	8
1.2.2 L'évaluation de la gravité du traumatisme crânio-cérébral .....	9
1.2.3 Conséquences du TCC léger .....	10
1.2.4 Conséquences du TCC modéré ou sévère .....	11
1.2.5 La réadaptation .....	14
1.2.6 Activité physique aérobie pour le traitement du TCC modéré ou sévère.....	14
1.2.7 Objectifs de la recherche.....	15
1.3 Recension des écrits.....	15
1.3.1 L'activité physique aérobie et le cerveau.....	15
1.3.2 L'amélioration de la capacité aérobie en présence de lésions cérébrales associées à un TCC.....	16
1.3.3 L'effet de l'exercice aérobie sur la fatigue perçue .....	19
1.3.4 L'effet de l'exercice aérobie sur la fatigue perçue en présence de lésions cérébrales associées à un TCC .....	21
1.3.5 L'effet de l'exercice aérobie sur la neuroplasticité et la cognition.....	23
1.3.6 L'effet de l'exercice aérobie sur la neuroplasticité et la cognition en présence de lésions cérébrales associées à un TCC .....	26
DEUXIÈME CHAPITRE – MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	31
2.1 Devis .....	31
2.2 Hypothèses .....	32
2.3 Variables à l'étude.....	32
2.3.1 Variable indépendante .....	32
2.3.2 Variables dépendantes.....	32
2.4 Population à l'étude.....	32
2.4.1 Critères de sélection.....	33
2.4.2 Stratégie d'échantillonnage et de recrutement .....	33
2.5 Instruments de mesure .....	34
2.5.1 Relevé des données morphologiques et physiologiques.....	34
2.5.2 Évaluation de la capacité aérobie .....	34
2.5.3 Test d'attention sélective – Barrage des cloches .....	35
2.5.4 Test d'attention sélective – d2.....	35

2.5.5 Test d'attention partagée – Brown-Peterson .....	36
2.5.6 Test d'attention partagée – Tracé A-B.....	36
2.5.7 Évaluation de la fatigue .....	36
2.6 Déroulement de l'étude .....	37
2.7 Analyse des données .....	40
2.8 Considérations éthiques.....	40
TROISIÈME CHAPITRE – RÉSULTATS .....	41
3.1 Participants .....	41
3.2 Adhésion au traitement .....	42
3.3 La capacité aérobie .....	44
3.4 La fatigue .....	47
3.5 Les tests d'attention sélective .....	50
3.5.1 Le test du d2 .....	50
3.5.2 Le test de barrage des cloches .....	52
3.6 Les tests d'attention partagée .....	55
3.6.1 Le test du Tracé A-B .....	55
3.6.2 Le test de Brown-Peterson.....	56
QUATRIÈME CHAPITRE – DISCUSSION.....	58
4.1 Adhésion au traitement .....	58
4.2 L'amélioration de la capacité aérobie.....	59
4.3 L'amélioration de la perception de la fatigue .....	61
4.4 L'amélioration des fonctions cognitives .....	62
4.5 Forces de l'étude.....	65
4.6 Limites de l'étude .....	66
4.7 Conclusion .....	67
REMERCIEMENTS.....	69
RÉFÉRENCES.....	70
ANNEXE A - MESURE DE LA CAPACITÉ AÉROBIE (PROTOCOLE BALKE- WARE).....	78
ANNEXE B - TESTS D'ATTENTION SÉLECTIVE .....	80
ANNEXE C - TESTS D'ATTENTION PARTAGÉE .....	82
ANNEXE D - L'ÉCHELLE DE FATIGUE DU <i>BARROW NEUROLOGICAL</i> <i>INSTITUTE</i> .....	84
ANNEXE E - TRADUCTION DU <i>BNI</i> DE L'ANGLAIS AU FRANÇAIS .....	86
ANNEXE F - FORMULAIRE DE CONSENTEMENT.....	88
ANNEXE G - REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DU DÉROULEMENT DE L'EXPÉRIENCE .....	94

## LISTE DES ILLUSTRATIONS

### Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des participants .....	42
---	----

### Liste des figures

Figure 1. Nombre de séances complétées par participant. ....	42
Figure 2. Durée moyenne des séances complétées par participant.....	43
Figure 3. Pourcentage de la fréquence cardiaque maximale par participant. ..	44
Figure 4. Capacité aérobie moyenne à l'évaluation initiale – groupe traitement et groupe témoin. ....	45
Figure 5. Résultats de la capacité aérobie moyenne aux quatre temps d'évaluation – groupe traitement. ....	46
Figure 6. Résultats de la capacité aérobie moyenne aux quatre temps d'évaluation – groupe témoin. ....	46
Figure 7. Capacité aérobie à 0 semaine et 12 semaines – comparaison à la norme canadienne attendue – groupe traitement.....	47
Figure 8. Résultats moyen de la perception de la fatigue générale aux quatre temps d'évaluation – groupe traitement. ....	48
Figure 9. Résultats moyen de la perception de la fatigue générale aux quatre temps d'évaluation – groupe témoin. ....	48
Figure 10. Résultats moyen de la perception de la fatigue sous forme d'énoncés aux quatre temps d'évaluation – groupe traitement. ....	49
Figure 11. Résultats moyen de la perception de la fatigue sous forme d'énoncés aux quatre temps d'évaluation – groupe témoin.....	50
Figure 12. Pourcentage d'efficacité moyen au test du d2 aux quatre temps d'évaluation – groupe traitement. ....	51
Figure 13. Pourcentage d'efficacité moyen au test du d2 aux quatre temps d'évaluation – groupe témoin. ....	51
Figure 14. Temps de réalisation moyen du test des cloches aux quatre temps d'évaluation – groupe traitement. ....	52
Figure 15. Temps de réalisation moyen du test des cloches aux quatre temps d'évaluation – groupe témoin. ....	53
Figure 16. Nombre moyen de bonnes réponses au test des cloches aux quatre temps d'évaluation – groupe traitement. ....	54
Figure 17. Nombre moyen de bonnes réponses au test des cloches aux quatre temps d'évaluation – groupe témoin. ....	54
Figure 18. Score moyen au test du Tracé A-B aux quatre temps d'évaluation – groupe traitement. ....	55
Figure 19. Score moyen au test du Tracé A-B aux quatre temps d'évaluation – groupe témoin. ....	56
Figure 20. Nombre de bonnes réponses score total moyen – groupe traitement. ....	57
Figure 21. Nombre de bonnes réponses score total moyen – groupe témoin..	57

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

<i>BDNF</i>	Facteur neurotrophique dérivé du cerveau ( <i>brain derived neurotrophic factor</i> )
<i>BNI</i>	<i>Barrow neurological Institute</i>
<i>CDCP</i>	Centre pour la prévention et le contrôle des maladies ( <i>Center for disease control and prevention</i> )
CRIR	Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain
ICIS	Institut canadien d'information sur la santé
IMC	Indice de masse corporelle
SAAQ	Société d'assurance automobile du Québec
SNC	Système nerveux central
TCC	Traumatisme crânio-cérébral

## PREMIER CHAPITRE – INTRODUCTION

### 1.1 Avant-propos

En Amérique du Nord, les traumatismes crânio-cérébral (TCC) sont une des principales causes de décès et d'incapacités chroniques chez les moins de trente-cinq ans (Chua et al., 2007). Aux États-Unis, selon une étude couvrant une période de cinq ans (2002 à 2006) et réalisée par le *Center for disease control and prevention (CDCP)* (2011), on estime l'incidence des TCC à 1,7 millions par année. Parmi l'ensemble des cas répertoriés, on compte 52 000 décès (3 %), 275 000 hospitalisations de moins trente jours (16,3 %) et 1,4 millions de visites d'une durée d'un jour ou moins à l'urgence (80,7 %). Au Canada, la prévalence des traumatismes crâniens est estimée à 11,4 cas par 100 000 personnes lorsqu'on parle de TCC grave ou sévère. La prévalence augmenterait à 600 cas par 100 000 lorsqu'on parle de commotion cérébrale ou de TCC léger (Cassidy et al., 2004 : cité dans ICIS, 2007).

L'un des principaux enjeux dans le traitement des TCC est l'aspect complexe et multisystémique des conséquences engendrées par ceux-ci. On observe, entre autres, des conséquences physiques, psychologiques, cognitives et neurologiques. Ces conséquences ont une incidence sur le fonctionnement personnel, social et professionnel des personnes ayant subi un TCC. Après la phase de traitement aiguë, une prise en charge interdisciplinaire est souvent le traitement préconisé pour la réadaptation des personnes touchées par cette problématique (Levine et Flanagan, 2010).

En ce qui concerne le coût socio-économique associé à cette problématique, il est à noter que la réadaptation d'un TCC modéré ou sévère nécessite une mobilisation considérable de ressources humaines et financières (SAAQ, 2001). L'Agence de santé publique du Canada estime que le total des coûts directs associés aux traumatismes crâniens (toutes gravités confondues) était de 151,7 millions de dollars en 2000-2001 (ICIS, 2007). De cette somme, 150,7 millions de dollars (99,3 %) seraient attribuables aux frais d'hospitalisation, 0,3 million de dollars (0,2 %) aux soins dispensés par les médecins et 0,7 million de dollars (0,5 %) aux médicaments prescrits. Une étude américaine récente

réalisée auprès d'une population âgée de 55 à 84 ans (Thompson et al., 2012) estime que les coûts associés à la réadaptation d'un TCC peuvent être estimés à 77 872 dollars par année par individu.

Notre projet s'inscrit dans la lignée des recherches cliniques désirant faire la lumière sur les possibilités de traitement impliquant l'exercice physique de type aérobie à des fins de réadaptation à la suite d'un TCC. Le premier chapitre de ce mémoire vise à définir le traumatisme crânien et ses conséquences, ainsi qu'à faire une recension des écrits scientifiques portant sur les diverses possibilités de traitement impliquant l'exercice physique.

## **1.2 Problématique**

### **1.2.1 Définition du traumatisme cranio-cérébral**

Selon Torpy (2005), le traumatisme crânien se définit par tout traumatisme au cuir chevelu, au crâne ou au cerveau. La gravité des traumatismes cérébraux est variable, le traumatisme cérébral léger (aussi appelé commotion cérébrale) peut provoquer une perte temporaire ou une altération de la fonction cérébrale, tandis que le traumatisme cérébral grave peut comprendre une fracture du crâne et entraîner des contusions ou des lacérations cérébrales ou un hématome intracérébral avec des incapacités permanentes.

Dans les programmes de réadaptation en neurotraumatologie du réseau de la santé et des services sociaux du Québec, le traumatisme cérébral est mieux connu sous le vocable « traumatisme cranio-cérébral ». Le TCC se définit par une altération de la fonction cérébrale ou par la démonstration d'une pathologie cérébrale provoquée par une force mécanique externe (Lezak, 2004 ; Menon et al., 2010). Sont considérés comme une altération de la fonction cérébrale : toute perte ou diminution du degré de conscience; tout type de perte de mémoire (amnésie post-traumatique incluse); tout déficit neurologique (faiblesse motrice, perte d'équilibre, dyspraxie, parésie, aphasie ou altération des fonctions sensorielles). L'application d'une force mécanique externe produisant une insulte cérébrale peut se présenter dans trois situations. Dans la première, l'individu est en mouvement et à la suite d'un arrêt ou d'une décélération brusque, le cerveau est secoué et entre en contact avec la boîte

crânienne. Dans la deuxième situation, l'individu est immobile et un objet en mouvement vient frapper sa tête ou un corps étranger pénètre à l'intérieur de la boîte crânienne (p. ex. : blessure par balle). Dans la troisième situation, l'individu est en mouvement et la tête frappe un objet immobile. Dans chacune de ces situations, il peut y avoir une lésion au cerveau allant d'une simple contusion à une importante lacération avec saignement (Heegaard et Biroš, 2007 ; Menon et al., 2010). Lorsqu'il est établi qu'un traumatisme crânien a provoqué une lésion cérébrale, l'importance de cette lésion doit être investiguée pour en déterminer la gravité (légère, modérée ou sévère) puisque les soins aigües ainsi que les services de réadaptations seront établis selon la gravité du TCC (Cappa et al., 2011).

### **1.2.2 L'évaluation de la gravité du traumatisme cranio-cérébral**

Parmi les principaux critères et outils cliniques généralement retenus pour évaluer la gravité d'un TCC, il y a l'échelle de coma de Glasgow, la durée de la perte de conscience, l'amnésie post-traumatique ainsi que l'ampleur et l'emplacement des lésions cérébrales (Menon et al., 2010 ; Sherer et al., 2007).

L'échelle de coma de Glasgow (Teasdale et Jennett, 1974) est reconnue mondialement comme l'étalon d'or pour évaluer la gravité des traumatismes cérébraux (Laureys et al., 2005). Utilisée en clinique et en recherche, l'échelle de coma de Glasgow sert à déterminer le niveau de conscience d'une personne lorsqu'elle est en état de coma (profondeur du coma) et produit un score allant de trois (coma profond) à quinze (personne parfaitement consciente). Cette échelle évalue trois critères : l'ouverture des yeux, la réponse verbale et la réponse motrice. Dans les heures suivant l'évènement traumatique, l'échelle de coma de Glasgow aide le médecin à déterminer sa stratégie pour maintenir les fonctions vitales de la personne comateuse. En règle générale, l'état du patient est évalué à l'aide de l'échelle sur une base quotidienne tout au long de la période de coma et à des intervalles plus rapprochés dans les heures et les jours suivants le traumatisme.

La durée de la perte de conscience et de l'amnésie post-traumatique (intervalle de temps pendant lequel la personne ayant subi un TCC est confuse et

amnésique) sont aussi reconnues pour être des indicateurs permettant d'évaluer l'ampleur des conséquences fonctionnelles à long terme du TCC (Cifu et al., 1997). Ces deux variables sont mises en relation avec le score obtenu à l'échelle de coma de Glasgow pour tenter de prédire l'étendue et l'importance des conséquences du TCC (Sandhaug et al., 2010). Il est admis dans la communauté clinique et scientifique que plus la perte de conscience et d'amnésie post-traumatique sont longues, plus les conséquences seront graves pour l'individu (Chua et al., 2007).

L'identification des lésions cérébrales (emplacement, étendue et gravité) est rendue possible grâce à des technologies permettant d'observer les différentes structures du cerveau. Par exemple, l'imagerie par résonance magnétique ou la tomographie axiale sont souvent utilisées pour déterminer quelles structures cérébrales ont été touchées. En identifiant les structures lésées, il est possible de prédire avec plus de précision la nature des conséquences neurologiques spécifiques qui apparaîtront pendant la réadaptation (Lagares et al., 2009). Ainsi, une lésion au niveau du lobe occipital entraînera probablement des troubles de la vision. Dans le cas d'une lésion au niveau du lobe frontal, il est probable que des changements ou des troubles de comportement apparaissent après le traumatisme.

### **1.2.3 Conséquences du TCC léger**

Le TCC léger est défini comme une période d'inconscience ne dépassant pas trente minutes, un score à l'échelle de coma de Glasgow entre treize et quinze, une absence de lésion cérébrale observable à l'imagerie par résonance magnétique ou à la tomographie axiale et une période d'amnésie post-traumatique de moins de vingt-quatre heures (Anderson et al., 2011 ; Kosakevitch-Ricbourg, 2006). Les conséquences du TCC léger sont très variables et peuvent être liées aux caractéristiques psychologiques personnelles (antécédent, comorbidité) de l'individu.

On classe les symptômes du TCC léger en trois catégories, soit; physiques, cognitifs et psychologiques (King et al, 1995). Au plan physique on retrouve principalement des céphalées, des nausées, des vertiges, une vision brouillée

ou double, de la fatigue et des troubles du sommeil. Au plan cognitif, les sujets rapportent des troubles de mémoire, des difficultés d'attention et de concentration, une lenteur de la pensée et des difficultés à planifier. Et finalement au plan psychologique, les sujets mentionnent de l'irritabilité, de l'impulsivité, une labilité émotionnelle, de l'anxiété et des symptômes dépressifs.

Habituellement, les conséquences du TCC léger s'estompent graduellement au cours des six à dix semaines suivant l'évènement mais, dans 3 % à 15 % des cas, les conséquences se chronicisent et peuvent perdurer pendant plusieurs années (CRIR, 2005 ; Yale et Richard, 2006). La répétition de traumatismes crâniens provoquant un TCC léger peut être responsable de la chronicisation des conséquences. Le risque que les conséquences soient toujours présentes six mois après le trauma initial augmente considérablement lorsqu'un individu subit plusieurs TCC légers à l'intérieur d'un court intervalle de temps. Par exemple, les athlètes qui subissent des chocs à la tête de façon répétée (sports de combat, football, hockey, etc.) sont plus à risque de voir les conséquences en lien avec le TCC se chroniciser (Echemendia et Cantu, 2003). L'étendue et l'importance de ces répercussions sont généralement proportionnelles à la gravité du TCC. Dans le cas d'un TCC léger, même si les conséquences tendent à se chroniciser, celles-ci seront habituellement moins étendues et moins importantes que dans le cas de TCC modérés ou sévères (Kosakevitch-Ricbourg, 2006).

#### **1.2.4 Conséquences du TCC modéré ou sévère**

Les conséquences associées aux TCC modérés ou sévères sont considérablement plus importantes que celles associées aux TCC légers (Decuyper et Klimo, 2012). Elles peuvent être d'ordre neurologique, physique ou psychologique. Tel que mentionné précédemment, les structures cérébrales lésées ainsi que l'ampleur des lésions auront une influence importante sur les conséquences du TCC.

Les principales conséquences neurologiques occasionnées par un TCC sont les difficultés motrices, sensitives ou cognitives (Belmont et al., 2006). Les

fonctions cognitives comme la résolution de problème, la vitesse de traitement de l'information, la mémoire et les fonctions du langage, ainsi que l'attention (sélective et partagée) sont les fonctions typiquement altérées après un TCC modéré ou sévère (Azouvi et al., 2004, 2009 ; McAlister, 2011). Les séquelles cognitives de type attentionnelles des TCC modérés ou sévères (avec lésions détectées au scanner) concernent respectivement trois quarts et deux tiers des patients ayant survécu à un TCC sévère ou modéré (Annoni et Colombo, 2011). Par exemple, un déficit au niveau de l'attention sélective peut avoir pour conséquence qu'un individu soit incapable de concentrer son attention sur une cible unique. En d'autres mots, il s'agit d'une personne qui est facilement distraite de son objectif ou de sa tâche. Un déficit au niveau de l'attention partagée affecte la capacité à être attentif à deux ou plusieurs tâches se déroulant en simultanée. Une situation dans laquelle une personne éprouve des difficultés à soutenir une conversation téléphonique pendant qu'elle fait la cuisine est un exemple de déficit d'attention partagée (Ziino et Ponsford, 2006).

Les conséquences neuromotrices d'un TCC modéré ou sévère font référence à la manifestation motrice d'une lésion cérébrale (Maegele et al., 2005 ; William et al., 2007). Les tremblements, la faiblesse musculaire, la perte de dextérité, la perte d'équilibre ou la boiterie sont des conséquences motrices souvent observées. Les séquelles motrices peuvent aussi être orthopédiques et il devient difficile de bien départager les conséquences qui sont dues à la lésion cérébrale de celles qui sont dues au traumatisme orthopédique. Les conséquences motrices liées aux blessures orthopédiques se distinguent par une évolution normale, alors que les conséquences neuromotrices liées à la lésion cérébrale évoluent souvent lentement et de manière inégale. La plupart du temps, la récupération des aptitudes motrices est très limitée lorsque ces conséquences sont reliées à une lésion cérébrale.

La fatigue est aussi au nombre des troubles fréquemment observés à la suite d'un TCC (toutes gravités confondues). La fatigue est un état de lassitude accompagné d'une baisse plus ou moins prononcée des aptitudes physique ou mentales suivant des efforts physiques ou intellectuels. Dans le cas de la fatigue pathologique post TCC, cet état de lassitude tend à apparaître sans

nécessairement qu'un effort ait été produit ou sans raison ou explication évidente (Cantor et al., 2008 ; Jha et al., 2008). En effet, une fatigue pathologique physique et mentale touche 45 % à 73 % des personnes ayant subi un TCC et 7 % d'entre elles identifieraient la fatigue comme étant le symptôme le plus gênant de tous (Belmont et al., 2006 ; Ziino et Ponsford, 2006). Certaines études ont exploré les dysfonctionnements du cortex moteur, de la glande thyroïde (hypothyroïdie), les troubles de sommeil, la douleur, la dépression et une tolérance réduite aux efforts physiques et intellectuels comme possibles causes de la fatigue pathologique post TCC (Bushnik et al., (2008).

Enfin, les lésions cérébrales associées à un TCC modéré ou sévère engendrent aussi des conséquences psychologiques. Les symptômes peuvent varier considérablement en fonction de la partie du cortex qui est lésée et de la gravité des lésions. Les principales conséquences psychologiques sont comportementales ou émotives. On peut observer l'apparition de différents troubles qui étaient inexistantes avant le trauma : perturbation de l'humeur, dépression, hallucinations ou troubles obsessionnels compulsifs. Le cas de Phineas Gage illustre bien ce type de conséquences. Cet homme a été victime d'un TCC alors qu'il travaillait à la construction d'une ligne de chemin de fer en 1848. M. Gage, qui était une personne polie, sérieuse et réfléchie, est devenu imprudent, grossier et irresponsable après qu'une tige de métal lui ait transpercé le crâne au niveau des lobes frontaux. Des techniques modernes de reconstitution de la blessure montrent que les régions frontales qui ont été touchées sont celles désormais reconnues comme essentielles au développement du sens moral (Carter et al., 2010).

Compte tenu de l'éventail des conséquences neurologiques, physiques et psychologiques associées au TCC modéré ou sévère, il est normal que la vie sociale et professionnelle d'une victime soit affectée. L'entourage des victimes subit aussi les effets néfastes de cette problématique. L'expérience clinique et la recherche démontrent qu'une personne ayant subi un TCC ainsi que son entourage doivent effectuer des deuils importants (p. ex. : projets, vie conjugale, vie professionnelle) pour s'adapter à la nouvelle situation. Colantonio

et collaborateurs (2004) ont démontré que 4 % à 6 % des victimes de TCC modéré ou sévère étaient totalement dépendantes pour les activités quotidiennes de base (manger, s'habiller, etc.) et pour leur soins personnels (hygiène corporelle, habillement, soins d'apparence, prise de médicaments, etc.). La même étude démontre qu'une grande proportion de ces personnes éprouvent des difficultés importantes en ce qui concerne leurs activités nécessitant des déplacements (faire les courses, se rendre à des rendez-vous, etc.). Enfin, l'adaptation de la personne et de son entourage est souvent compromise par l'effondrement du réseau social qui les entoure, ce qui contribue à leur isolement social (CRIR, 2005 ; Dawson et Chipman, 1995). En somme, les personnes victimes de TCC modéré ou sévère doivent s'adapter à une nouvelle situation au mieux de leur capacité résiduelle après l'accident. Le soutien social est un élément déterminant pour l'adaptation dans le processus de deuil de la personne victime et de son entourage (Ausloos, 1995).

### **1.2.5 La réadaptation**

Au Québec, en théorie la réadaptation se divise en trois phases pour les personnes ayant subi un TCC modéré ou sévère. La première phase fait référence aux soins médicaux d'urgence prodigués en centre hospitalier pour stabiliser l'état pathologique. La deuxième phase, celle de la réadaptation, se fait dans une unité de réadaptation fonctionnelle intensive. Pendant cette phase, le patient réside à l'unité et reçoit des traitements de réadaptation à raison de cinq jours par semaine. Enfin, la troisième phase a pour objectif de réinsérer l'individu dans son environnement (domicile, travail, loisirs). L'ensemble du processus s'échelonne habituellement sur une période approximative de deux ans.

### **1.2.6 Activité physique aérobie pour le traitement du TCC modéré ou sévère**

Parmi les différents traitements offerts au cours de la deuxième et troisième phase de réadaptation (p. ex. : physiothérapie, ergothérapie, psychologie, conditionnement physique, etc.), celui qui nous intéresse le plus dans le cadre de la présente recherche est le conditionnement physique, plus particulièrement l'activité physique aérobie. En tant que kinésologue de formation, l'étudiant-

chercheur éprouve un intérêt d'autant plus marqué envers ce type de traitement. En kinésiologie, l'endurance cardiovasculaire, la motricité globale et la force physique sont des aptitudes développées à l'aide de mises en situation diverses ou d'activités cliniques adaptées aux handicaps des individus (activités physiques, loisirs). Les notions de gestion d'effort, de saine alimentation, de saines habitudes de vie, ainsi que la reprise des loisirs et des activités physiques préléionnels sont abordées par le kinésiologue (Craig Hospital, 2012 ; Zampolini et al., 2012).

### **1.2.7 Objectifs de la recherche**

L'objectif de la présente recherche est de mesurer les effets qu'un programme d'entraînement de type aérobie peut avoir sur des personnes ayant subi un TCC modéré ou sévère. Des mesures sont effectuées sur la forme physique (capacité aérobie), sur les fonctions cognitives (attention sélective et partagée) et sur la fatigue pour déterminer si les participants recevant le traitement peuvent bénéficier des avantages du conditionnement physique.

## **1.3 Recension des écrits**

### **1.3.1 L'activité physique aérobie et le cerveau**

L'activité physique de type aérobie est reconnue comme ayant une importance considérable dans le processus moderne de réadaptation multidisciplinaire (Jankowski et Sullivan, 1990 ; Mossberg et al., 2010). L'exercice de type aérobie se distingue du fait qu'il sollicite les systèmes cardiorespiratoire et cardiovasculaire. Des exemples typiques d'exercice aérobie sont la nage, le jogging, le vélo, la marche rapide et le ski de fond.

Les bénéfices de l'activité physique sur la santé sont bien connus. Pensons notamment à la prévention des maladies chroniques comme le cancer, le diabète de type II et les maladies du cœur (Agence de la santé publique du Canada, 2011). D'autres domaines de recherche évaluent aussi les bienfaits potentiels de l'activité physique sur d'autres problématiques de santé. Par exemple, on étudie quel type d'exercice serait le plus favorable pour la gestion de la douleur chronique (Sullivan et al., 2012). D'autres études s'interrogent sur le lien entre l'activité physique et les problèmes de fatigue chronique ou encore

sur l'effet qu'il pourrait avoir sur l'apparition de certaines démences (Laurin et al., 2001).

À ce sujet, plusieurs études sur le phénomène de vieillissement s'accordent pour dire que l'exercice physique de type aérobie a un effet positif sur le cerveau (Ahlskog, 2011 ; Colcombe et al., 2003, 2006 ; Hillman et al., 2008 ; Larson et al., 2006). Par exemple, Friedland et collaborateurs (2001) concluent que le risque relatif de développer la maladie d'Alzheimer est 3,85 fois plus élevé (intervalles de confiance : 2,65 - 5,58) chez les adultes pratiquant moins d'activités physiques que la moyenne des gens âgés entre 20 et 60 ans. Cette étude comptait 551 participants de 60 ans et plus (193 patients Alzheimer/358 sujets sains) qui devaient remplir un questionnaire portant sur 25 types d'activités différentes réparties en trois catégories, soit : les activités passives (regarder la télévision, écouter de la musique), les activités intellectuelles (mots croisés, charades), les activités physiques (marche, sports, entraînement). La principale force de cette étude réside dans sa puissance statistique. Toutefois, l'utilisation d'un questionnaire d'inventaire se rapportant à des dizaines d'années dans le passé pour quantifier l'intensité et la fréquence de la pratique des activités au cours de l'âge adulte constitue une limite.

Dans une étude prospective de Larson et collaborateurs (2006), on a mesuré le niveau d'activité physique et l'état cognitif de 1 740 personnes âgées de 65 ans et plus, de 1994 à 2003. Les chercheurs ont ainsi établi que la pratique d'activité physique aérobie trois fois par semaine réduisait de 32 % l'incidence de démence. Par contre, la mesure de la quantité et de l'intensité de la pratique d'activité physique était basée sur le témoignage des participants.

### **1.3.2 L'amélioration de la capacité aérobie en présence de lésions cérébrales associées à un TCC**

En effectuant un entraînement aérobie adéquat, une personne sans pathologie peut améliorer considérablement l'efficacité de ses systèmes de transport et d'utilisation d'oxygène (Colcombe et al., 2006 ; McArdle 2001). Au niveau des muscles, les mitochondries se multiplient et grossissent, la circulation sanguine

augmente et l'activité des enzymes aérobies mobilise et oxyde les graisses plus efficacement (McArdle, 2001).

Les personnes ayant subi un TCC peuvent aussi améliorer leur capacité aérobique (Bateman et al., 2001 ; Bhamhani et al., 2003, 2005 ; Hunter et al., 1990 ; Jankowski et Sullivan, 1990 ; Mossberg et al., 2005, 2007, 2010). De surcroît, il est aussi admis dans la littérature que les gens ayant subi un TCC modéré ou sévère possèdent une capacité aérobique moins élevée que la valeur prédite de la population normale (pour une personne du même sexe et de la même catégorie d'âge). Selon les études, la capacité aérobique des personnes ayant subi un TCC peut être réduite de 24 % (Mossberg et al., 2007) à 33 % (Jankowski et Sullivan, 1991). Plusieurs facteurs contribuent probablement à diminuer la capacité aérobique des personnes ayant subi un TCC. La période d'alitement peut être considérée comme une des variables responsables de la diminution de la capacité aérobique à court terme. Le manque d'initiative et les déficits cognitifs associés à des lésions cérébrales sont aussi à considérer dans le développement d'un mode de vie sédentaire chez les victimes de TCC modéré ou sévère. Toutefois, le peu d'importance accordée à l'activité physique comme moyen de traitement, ainsi que la méconnaissance des bénéfices sur la santé physique et mentale pendant la période de réadaptation semblent être les principales causes responsables de la cristallisation de cette situation (Mossberg et al., 2007).

L'étude de Bateman et collaborateurs (2001), rapporte une amélioration significative de la capacité de travail se traduisant par une amélioration de 33,5 % de la puissance aérobique maximale (Watts) et par une diminution de 4 % de la fréquence cardiaque à l'effort. Cette étude a été réalisée auprès de 157 participants répartis aléatoirement dans un groupe traitement (n = 78) ou dans un groupe témoin (n = 79). Les participants de cette étude avaient reçu un diagnostic de TCC modéré ou sévère. Les participants du groupe traitement devaient s'exercer pendant douze semaines, à raison de trois séances par semaine, pour une durée de 30 minutes à chaque séance. L'intensité de l'effort se situait entre 60 % et 80 % de la fréquence cardiaque maximale du participant et était mesurée à chaque séance à l'aide d'un cardiofréquencemètre. Le

groupe témoin effectuait des séances de relaxation trois fois par semaine. Les principales forces de cette étude résident dans sa puissance statistique, le programme d'entraînement avec intensité ciblée et la présence d'un groupe témoin. Toutefois, les tests physiques de cette étude ne comptaient qu'une seule mesure comparable à d'autres études dans le domaine (puissance aérobie maximale). Les autres variables étudiées telles que l'IMC, la fréquence cardiaque au repos et la fréquence cardiaque à l'effort rendent la comparaison de ces résultats avec d'autres études difficile.

L'étude de Bhambhani et collaborateurs (2005), réalisée auprès de 14 personnes ayant subi un TCC modéré ou sévère a permis de démontrer qu'il y avait une amélioration significative de la puissance maximale mesurée en Watts (41,3 %), de la capacité aérobie absolue mesurée en litres/minute (33,3 %) et de la capacité aérobie relative mesurée en millilitre/kilogramme/minute (22,5 %). Le programme d'exercices consistait en 36 séances d'entraînement d'une heure, effectuées en circuit (50 % exercices de musculation, 50 % exercices aérobie) et réparties sur 12 semaines. La force de cette étude est qu'on a eu recours à plusieurs types de mesures (Watts, capacité aérobie absolue et relative) pour qualifier l'amélioration de la capacité aérobie à la suite du traitement d'exercices. La principale limite est qu'elle ne comportait pas de groupe témoin pour comparer les résultats du groupe traitement à l'évolution normale de la capacité aérobie pendant les premiers mois de réadaptation à la suite d'un TCC. En effet, après une période d'alitement pouvant aller jusqu'à plusieurs mois, il est normal que la capacité aérobie d'un individu régresse par rapport à sa capacité aérobie pré-lésionnelle. Il serait donc normal que la capacité aérobie de la victime s'améliore pendant les premiers mois de réadaptation au cours desquels les activités de locomotion sont progressivement réintroduites dans la routine quotidienne.

Plusieurs études indiquent que les personnes ayant subi un TCC peuvent bénéficier d'un programme d'exercices dans le cadre de leur réadaptation. Or, une revue publiée par le groupe Cochrane (Hassett et al, 2009), conclut que les démonstrations scientifiques à ce sujet sont trop peu nombreuses et que d'autres études sont nécessaires pour mieux comprendre comment

l'amélioration de la capacité aérobie peut être utile dans la réadaptation d'un TCC. Les auteurs précisent que ce traitement semble sécuritaire et que les cliniciens devraient l'appliquer en suivant les règles de *l'American college of sports medicine* pour déterminer les paramètres du programme d'exercices (Palmer et McLean, 2003 : cité dans Hassett et al., 2009).

### **1.3.3 L'effet de l'exercice aérobie sur la fatigue perçue**

La fatigue se décrit comme une sensation physique ou mentale et se constate par une diminution de la performance à une tâche et/ou par une augmentation des erreurs. La fatigue est un phénomène normal qui peut devenir pathologique.

La fatigue est considérée comme un symptôme non spécifique associable à plusieurs pathologies ou états de santé affectant les sphères physiques ou psychologiques d'un individu. Par exemple, la fatigue fait notamment partie de la symptomatologie du syndrome de la fatigue chronique, du cancer, de la fibromyalgie, de la sclérose en plaques et de l'anémie ferriprive. La fatigue est parfois causée par des traitements pharmacologiques comme les antihistaminiques ou la chimiothérapie. La fatigue peut aussi résulter de comportements ou de modes de vie néfastes tels que la consommation abusive d'alcool, de caféine ou de drogues. Les situations stressantes, le manque de sommeil ou les lésions cérébrales associées à un TCC peuvent aussi causer de la fatigue (Manu et al., 1992).

La fatigue devient problématique et outrepassé son rôle de protection lorsqu'elle se manifeste sans explication ou que les traitements conventionnels n'arrivent pas à avoir d'effet sur celle-ci. Par exemple, les causes du syndrome de fatigue chronique ne sont pas claires. Ce syndrome pourrait résulter d'une mauvaise forme physique (Riley et al., 1990), d'un manque de sommeil (Myles et al., 1985), d'une détresse psychologique (Morgan, 1994) ou d'une interaction entre ces causes potentielles. La fatigue associée au syndrome de fatigue chronique se distingue par le fait qu'il n'y a généralement aucune co-morbidité associée à ce syndrome.

Contrairement à la fatigue pathologique, la fatigue causée par l'exercice physique a un fonctionnement plus normal. Pendant un effort aérobie, la fatigue peut devenir assez importante pour qu'une personne soit contrainte à réduire son effort ou même l'arrêter complètement. Tout type d'activité physique requiert de l'énergie. Plus une personne pratique longtemps et/ou intensément une activité physique, plus elle puisera dans ses réserves d'énergie. De ce fait, l'apparition de la fatigue agit comme un signal d'alarme qui permet de protéger l'intégrité physique et psychologique de la personne (Ament et Verkerke, 2009). Aussi, plus un individu est en bonne forme physique, plus il utilisera efficacement l'énergie à sa disposition et se fatiguera ainsi moins rapidement qu'une personne en mauvaise forme physique. L'hypothèse du mécanisme permettant de réduire la fatigue à l'aide de l'exercice aérobie, réside principalement dans une meilleure utilisation de l'énergie disponible, ce qui réduirait le coût énergétique relatif pour s'acquitter des activités de la vie quotidienne (McArdle, 2001).

Dans une étude de Fulcher et White (1997), on arrive à la conclusion qu'un programme d'exercice aérobie progressif serait un traitement efficace pour diminuer la fatigue perçue des personnes ayant à vivre avec le syndrome de fatigue chronique. Cette étude réalisée auprès de 66 patients répartis aléatoirement dans un groupe traitement ou un groupe témoin comparait un programme d'exercice aérobie ( $n = 33$ ) à un programme d'exercices de souplesse ( $n = 33$ ). Le traitement consistait en une séance d'exercice aérobie par semaine échelonné sur 12 semaines, accompagné d'exercices à effectuer à la maison. Le groupe témoin effectuait des exercices de souplesse et de relaxation en clinique une fois par semaine, pendant 12 semaines avec une prescription d'exercices de souplesse et de relaxation à domicile comparable au groupe traitement. Les résultats de cette étude démontrent que la fatigue perçue, les capacités fonctionnelles et la forme physique (des participants) du groupe traitement se sont améliorées de manière significative ( $p < 0,05$ ). Les principales forces de cette étude sont l'aspect progressif du programme d'entraînement proposé ainsi que la prescription d'exercices à faire à la maison qui favorise le développement autonome et le maintien d'une habitude de vie reliée à l'activité physique.

Dans un article plus récent, Hsieh et collaborateurs (2008) ont étudié une population de femmes qui avait reçu un diagnostic de cancer du sein. Les auteurs arrivent à la conclusion qu'un programme d'exercices personnalisé et d'intensité modérée peut maintenir et améliorer la capacité aérobie tout en réduisant la fatigue perçue malgré les traitements de chimiothérapie. L'étude comptait 96 participantes dont 74 avaient reçu un traitement de chimiothérapie, de radiation ou une combinaison des deux. Toutes les participantes de l'étude ont reçu le traitement d'exercice aérobie qui s'échelonnait sur une période de six mois, à une fréquence de deux ou trois rencontres de soixante minutes par semaine. Chaque séance d'exercices consistait en une période d'échauffement de dix minutes, suivi d'une période de 40 minutes qui alternait exercice aérobie, résistance et souplesse, et se terminait avec un retour au calme de dix minutes. Les résultats de cette étude démontrent que le programme d'exercices a permis de réduire significativement la fatigue ( $p < 0,05$ ).

La littérature rapporte que l'exercice aérobie peut réduire la fatigue pathologique ressentie par les personnes en traitement de chimiothérapie ou aux prises avec le syndrome de fatigue chronique. La section suivante présente des écrits qui ont étudié cette question auprès d'individus ayant subi un TCC.

#### **1.3.4 L'effet de l'exercice aérobie sur la fatigue perçue en présence de lésions cérébrales associées à un TCC**

Dans le cas d'un TCC, la forte prévalence de la fatigue dans les premiers mois de convalescence peut s'expliquer notamment par la période d'alitement prolongée des victimes. Toutefois, cette fatigue est considérée pathologique lorsqu'elle persiste dans le temps. En effet, 43 % à 73 % des victimes d'un TCC modéré ou sévère ressentent encore une fatigue incommode cinq ans après l'évènement traumatique initial (Cantor et al., 2008 ; Levine et Greenwald 2009 ; Ziino et Ponsford, 2006). Cette fatigue pathologique est décrite comme une sensation envahissante d'épuisement accompagnée d'une diminution des capacités physiques et mentales, malgré un sommeil normal (Jha et al., 2008). La fatigue physique pourrait être liée à une capacité physique réduite au niveau des systèmes cardiovasculaire et cardiorespiratoire. La période

d'alitement, le manque de motivation, les déficits cognitifs ainsi que les blessures orthopédiques ont un rôle à jouer dans cette diminution de la capacité aérobie (Mossberg et al., 2007). La fatigue mentale est attribuable à des efforts mentaux faisant appel notamment à la concentration, la mémoire ou l'attention (Jha et al., 2008 ; Kohl et al., 2009). Cette fatigue physique et mentale excessive peut provoquer des dérangements de l'humeur, des limitations au niveau du fonctionnement social ainsi qu'une baisse de la qualité de vie en général (Cantor et al., 2008 ; Jha et al., 2008 ; Wise et al., 2010). Selon LaChapelle et collaborateurs (1998), 7 % des personnes ayant subi un TCC modéré ou sévère identifieraient la fatigue pathologique comme le symptôme le plus incommodant parmi l'ensemble de conséquences associées à cette problématique de santé.

L'étude de Englander et collaborateurs (2010) a testé l'hypothèse de la relation entre les dysfonctionnements de l'hypophyse et la fatigue présente chez les personnes neurotraumatisées. Les conclusions de cette étude indiquent que la fatigue pathologique post-TCC ne semble pas associée à des dysfonctionnements de l'hypophyse, mais que d'autres dysfonctions des glandes endocrines comme l'hypothyroïdie devraient être investiguées en clinique pour mieux documenter les hypothèses en lien avec le système endocrinien.

Une autre hypothèse spécifique à la population neurotraumatisée, pour expliquer cette fatigue pathologique, serait que les personnes ayant subi un TCC fourniraient un effort plus important pour fonctionner au plan physique et mental en raison de leur déficits cognitifs et moteurs (hypothèse du *coping*) (Belmont et al., 2006).

Une revue de littérature (Mossberg et al., 2010) s'est intéressée à la pertinence de l'entraînement aérobie après un TCC pour diminuer la fatigue. Cette revue indique que la relation entre la forme physique et la fatigue subséquente à un TCC a été peu étudiée. Les auteurs ont révisé, entre autres, l'étude de Bateman et collaborateurs (2001). Cette étude arrive à la conclusion qu'un programme d'exercices peut améliorer la capacité aérobie de personnes ayant

subi un TCC, mais que cette amélioration ne semblerait pas avoir d'effet sur la perception de la fatigue mesurée à l'aide d'un questionnaire de fatigue.

À l'inverse, l'étude de Jankowski et Sullivan (1990) conclut qu'un programme d'exercice aérobic peut réduire la fatigue chez des personnes ayant subi un TCC. Les résultats de cette étude démontrent une amélioration significative de la perception de la fatigue mesurée avec un index de fatigue. Cette étude réalisée auprès de 14 participants TCC, consistait à évaluer l'effet d'un programme d'exercice aérobic et musculaire sur la fatigabilité et la capacité fonctionnelle. Le programme d'exercices consistait en 48 séances d'exercices réparties sur 16 semaines. Les participants devaient s'entraîner à 70 % de leur fréquence cardiaque maximale tout au long du traitement, en débutant par des séances de 20 minutes dans les premières semaines et en augmentant progressivement jusqu'à des séances de 90 minutes en fin de traitement. Cette étude se distingue par son originalité, puisqu'elle présente des résultats sur l'effet d'un programme d'exercices sur la fatigue chez une population de gens ayant subi un TCC. Il est toutefois difficile de relier ces résultats exclusivement à l'amélioration de la capacité aérobic, puisque le traitement consistait en une combinaison d'exercices musculaires et d'aérobic. De plus, dans cette étude, l'effet du traitement n'a pas été comparé avec un groupe témoin. D'autres études sur la question sont nécessaires pour mieux documenter comment l'exercice aérobic peut avoir une incidence positive sur la fatigue perçue des personnes ayant subi un TCC.

### **1.3.5 L'effet de l'exercice aérobic sur la neuroplasticité et la cognition**

La neuroplasticité fait référence à l'ensemble des manifestations traduisant la capacité des neurones à se modifier et à se remodeler tout au long de la vie. Ce mécanisme contribue à l'adaptation des neurones à un environnement moléculaire, cellulaire et fonctionnel extrêmement changeant. Ainsi, le cerveau se modifie en fonction des expériences affectives, psychiques et cognitives vécues. C'est un processus neurophysiologique d'adaptation du système soumis à l'influence de facteurs environnementaux, génétiques ou épigénétiques. La plasticité peut aussi être mise en œuvre lors de processus pathologiques tel un traumatisme crânien et comporte par nécessité une

réorganisation des interactions neuronales afin de préserver au mieux les capacités fonctionnelles du système (Cage, 2004).

Les chercheurs Shoshanna Vaynman et Fernando Gomez-Pinilla (2005) ont rédigé une revue de la littérature dans laquelle ils concluent que « *l'exercice devrait être considéré comme un outil important, capable d'améliorer les habiletés cognitives et la santé du système nerveux en général et particulièrement comme une habitude qui peut maintenir les fonctions cognitives tout au long de la vie* ». Toutefois, la lecture de cet article permet de constater que la grande majorité de la littérature discutant de l'effet de l'exercice physique sur les fonctions cognitives et la neuroplasticité porte sur des animaux. Ainsi, plusieurs études chez l'animal démontrent que l'exercice contribuerait à réguler ou à améliorer la prolifération et la différenciation des cellules dans le système nerveux central d'animaux sans lésions cérébrales (Gomez-Pinilla et al., 2002 ; Lojovich, 2010 ; Molteni et al., 2002 ; Radak et al., 2001 ; Shen et al., 2001 ; Steiner et al., 2001 ; Van Praag et al., 1999 ; Vaynman et al., 2003, 2004 ; Wu et al., 2007).

Les études qui seront décrites dans les prochains paragraphes avaient pour but d'observer les changements neurophysiologiques qui s'opèrent dans le cerveau animal lorsqu'un traitement d'exercice aérobie est donné. Les animaux ayant suivi le traitement d'exercice aérobie dans ces études n'avaient pas de lésion cérébrale et étaient en santé. À la fin du programme d'exercices, ils étaient sacrifiés et leur cerveau analysé pour mesurer les changements au niveau de différentes structures cérébrales. Ces analyses ont permis de documenter les mécanismes neurophysiologiques qui s'opèrent au niveau du cerveau animal lorsqu'un traitement pour améliorer la capacité aérobie est appliqué. La mesure et la documentation de ces mécanismes permet de mieux comprendre comment la pratique d'activité physique peut avoir un effet sur certaines fonctions cognitives.

L'étude de Radak et collaborateurs (2001) suggère que l'exercice améliore les fonctions cognitives et, qu'en parallèle, il permet une diminution du dommage oxydatif des cellules du système nerveux central (SNC). L'étude conclut que

l'activité physique, lorsque pratiquée régulièrement, semble être un moyen efficace de prévenir le déclin des fonctions cognitives associées au vieillissement. L'étude a inclus une cohorte de 12 jeunes rats (âgés de 4 semaines) et une cohorte de 12 rats d'âge moyen (âgés de 14 mois). Chaque rat était assigné aléatoirement aux groupes traitement ou aux groupes contrôle. Les rats des groupes traitements nageaient pendant 60 minutes consécutives cinq jours par semaine, pendant neuf semaines, puis 90 minutes pendant les trois dernières semaines. Les rats étaient ensuite évalués sur leur acquisition de conditionnement classique avec des tests d'évitement de choc électriques. Une fois le protocole d'évaluation terminé, les animaux étaient sacrifiés et leur cerveau était disséqué pour comparer les dommages oxydatifs du SNC des sujets traitement et des sujets témoin. Les deux groupes de rats qui s'entraînaient (jeunes et âge moyen) ont obtenu des résultats significativement ( $p < 0,05$ ) meilleurs aux tests d'évitement que les rats des groupes contrôle. Les dommages oxydatifs au niveau du SNC étaient aussi significativement ( $p < 0,05$ ) moins importants chez les rats qui s'entraînaient que chez les rats sédentaires. La principale force de cette étude est son protocole d'entraînement qui a été repris à plusieurs reprises dans la littérature (Greisbach 2004a, 2004b, 2007 ; Vaynman et al., 2003, 2004).

Dans une étude réalisée auprès de 28 rats avec un protocole d'entraînement et d'évaluation comparable à l'étude décrite dans le précédent paragraphe, Vaynman et collaborateurs (2004) arrivent à la conclusion suivante : l'exercice aérobie augmente la production du facteur neurotrophique dérivé du cerveau (*BDNF*). Cette augmentation contribuerait à l'amélioration des fonctions cognitives. En effet, le *BDNF* permettrait notamment d'augmenter la capillarisation cérébrale, de moduler l'accumulation du stress oxydatif et de réguler la prolifération et la différenciation des cellules du SNC (Griesbach et al., 2004a, 2004b, 2007). La dérégulation de la production de *BDNF* jouerait un rôle dans plusieurs troubles d'ordre cognitif tels que la schizophrénie (Egan et al., 2003 ; Kaplan et al., 2010), la maladie d'Alzheimer (Tsai et al., 2004), les démences (Ando et al., 2002) et les lésions cérébrales de type TCC (Horsfield et al., 2002). En d'autres mots, la conclusion de l'étude de Vaynman et

collaborateurs (2004) permet de croire que le *BDNF* pourrait favoriser et faciliter la récupération physiologique du cerveau après un TCC.

L'étude de Rhyu et collaborateurs (2010), réalisée chez 24 macaques femelles (*cynomolgus*) arrive à la conclusion que l'exercice aérobie améliore les fonctions cognitives et la vascularisation du cerveau. Cette étude comptait un groupe traitement ( $n = 16$ ) et un groupe témoin ( $n = 8$ ). Le traitement était échelonné sur une période de cinq mois et consistait en une heure de course par jour sur tapis roulant. Les macaques couraient en moyenne 3,2 kilomètres par séance à une intensité équivalente à 80 % de leur puissance aérobie maximale. Les macaques du groupe témoin restaient sédentaires et ne faisaient aucun exercice aérobie ou musculaire. Les tests cognitifs débutaient à la neuvième semaine et étaient effectués à l'aide d'un appareillage de type *Wisconsin general testing apparatus*. Les résultats des tests effectués avec le *Wisconsin general testing apparatus* démontrent que les macaques du groupe traitement ont appris deux fois plus rapidement ( $p < 0,05$ ) que leur contrepartie du groupe témoin comment déplacer une plaque en vue d'obtenir une récompense. De plus, les résultats démontrent que la vascularisation s'est améliorée significativement ( $p < 0,05$ ) dans plusieurs zones du cortex moteur chez les macaques qui faisaient de l'exercice. Toutefois, l'amélioration au niveau de la vascularisation a été renversée pendant la période de sédentarité après la vingtième semaine d'exercice. La force de cette étude réside dans l'utilisation d'un modèle animal se rapprochant du modèle humain. L'utilisation de primates pour tester un protocole d'entraînement pour ensuite étudier les changements neurophysiologiques du cerveau rend la généralisation du programme d'entraînement et des résultats chez l'humain plus tangible qu'avec des modèles de rongeurs comme présenté dans les études précédentes. Ceci dit, les trois études décrites dans la présente section testait des animaux ce qui limite la généralisation des résultats pour l'humain.

### **1.3.6 L'effet de l'exercice aérobie sur la neuroplasticité et la cognition en présence de lésions cérébrales associées à un TCC**

En plus des bénéfices sur la cognition et la neuroplasticité auprès de la population vieillissante, plusieurs études ont aussi démontré que l'exercice

physique aérobie aurait un effet bénéfique sur la récupération des fonctions cognitives en améliorant la neuroplasticité après un TCC (Archer, T., 2012 ; Grealy et al., 1999 ; Griesbach et al., 2004a, 2004b, 2007, 2012 ; Itoh et al., 2010 ; Kim et al., 2010 ; Lojovich, J., 2010 ; McDonnell et al., 2011 ; Seoet al., 2010 ; Soustiel et Larish, 2010 ; Vaynman et Gomez-Pinilla, 2005).

L'étude de Grealy et collaborateurs (1999) est l'une des premières publications scientifiques adressant la question de recherche qui nous intéresse. Cette étude a été réalisée auprès de personnes ayant subi un TCC modéré ou sévère. Dans cette étude réalisée auprès de 13 personnes ayant subi un TCC modéré, Grealy et collaborateurs (1999) ont détecté une amélioration significative ( $p < 0,01$ ) de la performance à un test mnésique (empan de chiffre) et à un test d'attention partagée (Tracé A-B). L'attention partagée consiste à rester attentif à deux ou plusieurs choses à la fois. Par exemple, conduire et soutenir une conversation, surveiller une tarte au four pendant qu'on fait rôtir des oignons dans la poêle. L'attention partagée est souvent déficiente chez les personnes ayant subi un TCC. D'autres études (McMillan et al., 2002) ont aussi utilisé des tests pour mesurer l'attention sélective (*test of everyday attention*) chez des personnes ayant subi un TCC modéré ou sévère. L'attention sélective se définit comme étant la capacité à demeurer attentif à une cible pour la repérer dans un ensemble complexe. Cela consiste par exemple à reconnaître un taxi dans l'ensemble des voitures du trafic correspond à de l'attention sélective. Cette fonction est importante dans la vie de tous les jours et fait parfois défaut chez les personnes ayant subi un TCC. Étant moins performants, ils sont plus lents à repérer la bonne cible et font plus d'erreurs en cherchant leur cible. Dans l'exemple du taxi, un sujet TCC pourrait regarder chaque voiture qui se dirige vers lui une à une et laisserait passer quelques taxis avant d'en repérer un à temps pour le hélér. Dans l'étude de Grealy et collaborateurs (1999), l'entraînement était effectué sur un vélo stationnaire dans un environnement virtuel à raison de trois séances de 25 minutes par semaine. Les participants devaient fournir un effort équivalent à une intensité de 10 à 12 sur l'échelle de Borg, ce qui représente un effort d'intensité faible à modérée (Borg, 1982). Cette étude se distingue par le fait qu'elle est une des rares études à avoir comparé à l'aide de tests cognitifs, des personnes ayant subi un

TCC (n = 13) à des personnes saines (n = 25). Or, cette étude confinait les participants dans un environnement virtuel pour effectuer les séances d'entraînement, si bien qu'il est difficile de départager l'effet de l'environnement virtuel de l'effet de l'entraînement sur les fonctions cognitives, puisque ces deux variables n'étaient pas isolées dans le traitement étudié. De plus, cette recherche n'a pas mesuré la capacité aérobie des participants avant et après le programme d'exercices. Il est donc difficile de mettre en relation l'amélioration de la capacité aérobie avec les améliorations observées aux différents tests cognitifs. Aussi, le niveau d'intensité de l'entraînement était mesuré de façon subjective plutôt qu'objective, avec le rythme cardiaque par exemple. Enfin, sept participants sur 13 en étaient à deux mois post accident et les autres à presque un an.

Les études de Griesbach et collaborateurs (2004a, 2007) sont décrites ici puisqu'elles démontrent les changements neurophysiologiques engendrés par un traitement d'exercice aérobie chez des modèles animal ayant subi un TCC. Griesbach et collaborateurs (2004a) ont émis l'idée qu'il existerait une fenêtre temporelle au cours de laquelle il serait optimal de prodiguer un traitement d'exercice aérobie pour optimiser la production de *BDNF* à la suite d'un TCC. L'étude comptait 161 rats répartis en un groupe traitement (n = 89) et un groupe témoin (n = 72). Les rats du groupe traitement étaient divisés en deux sous-groupes : entraînement en phase aigüe (0-7 jours après la lésion) et entraînement avec délai de récupération (14 à 21 jours après la lésion). La lésion cérébrale était causée par une percussion par fluide au niveau du lobe temporal. Les rats s'entraînant en phase aigüe étaient sacrifiés au 7<sup>e</sup> jour suivant la lésion. À la dissection du cerveau, il n'y avait pas de trace d'augmentation de la production de *BDNF*. Au contraire, les chercheurs observaient plutôt les signes d'une diminution ou d'une dérégulation de ce facteur trophique au niveau de l'hippocampe. Dans le deuxième sous-groupe d'entraînement, la roulette d'exercice devenait accessible au 14<sup>e</sup> jour suivant la lésion. Les rats de ce groupe s'entraînaient donc du 14<sup>e</sup> au 21<sup>e</sup> jour après la lésion. La dissection du cerveau de ce deuxième sous-groupe a permis d'observer une augmentation significative ( $p < 0,05$ ) de *BDNF* au niveau de l'hippocampe. Cette étude se distingue par le fait qu'elle est la première à avoir

démontré que le temps de récupération à la suite d'un TCC a une incidence sur les bénéfices d'un traitement de type exercice aérobic. Toutefois, la période de récupération de 14 jours mentionnée dans l'étude de Griesbach et collaborateurs (2004a), basée sur un modèle animal, est difficilement applicable aux humains. Des recherches chez l'humain pour traduire cette fenêtre de récupération seraient une avancée majeure au niveau des implications cliniques de ce type de traitement pour des personnes ayant subi un TCC. En 2007, Griesbach et collaborateurs ont ajouté une nouvelle variable à prendre en considération et qui viendrait agir sur cette fenêtre de récupération : la gravité de la lésion cérébrale. Ces auteurs suggèrent que plus la lésion cérébrale est grave, plus le début du programme d'exercices devrait être retardé pour bénéficier de cette fenêtre de récupération pour augmenter la production de *BDNF*.

L'étude de Kim et collaborateurs (2010) démontre que l'exercice aérobic réduit la destruction secondaire (apoptose neuronale) après un TCC en plus d'améliorer la neurogénèse. Cette étude émet l'idée que l'exercice aérobic n'est pas seulement utile pour optimiser la neuroplasticité, mais qu'il permet aussi de réduire la destruction des cellules nerveuses à la suite d'un TCC. L'apoptose neuronale, ou mort programmée d'une cellule (Kerr et al., 1972), peut être mise en œuvre lorsque la cellule est endommagée (comme dans le cas d'une lésion cérébrale) (Ollat, 2002). L'étude de Kim et collaborateurs (2010), effectuée sur un modèle animal suggère qu'un traitement d'exercice aérobic permettrait de réduire l'apoptose neuronale dans la région de l'hippocampe à la suite d'un TCC. D'autres études ont aussi démontré que l'exercice aérobic réduirait l'apoptose neuronale dans la région du cervelet à la suite d'un TCC (Seo et al., 2010). La réduction du nombre de cellules nerveuses dans l'hippocampe ou dans le cervelet serait associée à l'apparition de troubles cognitifs (Witgen et al., 2005). L'étude de Kim et collaborateurs (2010) se démarque par le fait qu'elle documente une théorie différente de la neurogénèse pour expliquer l'effet de l'exercice aérobic sur la réadaptation des fonctions cognitives après un TCC. Cette étude, comme la grande majorité de la littérature sur le sujet, tire toutefois ses conclusions à partir d'observations faites auprès d'un modèle animal, ce qui limite la généralisation de ces résultats au cerveau humain.

La récente revue systématique de McDonnell et collaborateurs (2011) démontre que la littérature au sujet de la relation entre l'exercice physique et la réadaptation des fonctions cognitives après un TCC semble être positive, mais que d'autres recherches sont encore nécessaires pour pouvoir confirmer cette relation. Les auteurs ont identifié 1 731 études avec leur stratégie de recherche initiale pour finalement n'en inclure que sept dans leur revue. Parmi ces études, seulement deux concernaient la population neurotraumatisée : l'étude de Grealy et collaborateurs (1999) et l'étude de McMillan et al., (2002). Les autres études retenues dans la revue concernaient des populations de gens souffrant de sclérose en plaques, de démence ou ayant subi un accident vasculaire cérébral. Les auteurs de la revue mentionnent que les principales limites des études révisées sont le manque d'uniformité dans les tests cognitifs utilisés ainsi que le manque de fréquence et d'intensité dans les programmes d'exercice aérobie prescrits. La revue conclue que la littérature sur cette question est insuffisante pour pouvoir affirmer que l'amélioration de la capacité aérobie permet d'avoir un effet positif sur la réadaptation des fonctions cognitives auprès des personnes vivant avec des désordres neurologiques. D'autres études sont nécessaires pour pouvoir affirmer qu'une meilleure forme physique peut améliorer le fonctionnement et les performances cognitives d'adultes vivant avec des désordres neurologiques.

En résumé, les écrits consultés dans notre revue de littérature indiquent qu'il est possible d'améliorer la capacité aérobie des gens ayant subi un TCC à l'aide d'un programme d'exercice aérobie supervisé. En plus des bénéfices sur la santé globale de l'individu, la réadaptation de la capacité aérobie après un TCC semble avoir des implications au niveau des conséquences physiologiques et comportementales telles que la fatigue et les troubles cognitifs. Plusieurs études animales ont démontré les évidences neurophysiologiques (*BDNF*, apoptose) des bénéfices de l'entraînement aérobie sur la neuroplasticité à la suite d'un TCC. Toutefois, puisque la littérature à ce sujet est limitée, d'autres études chez l'humain sont nécessaires pour préciser comment l'amélioration de la capacité aérobie peut avoir un effet positif dans la réadaptation des troubles cognitifs ou de la fatigue pathologique

post TCC. Dans le prochain chapitre, le devis et les hypothèses, ainsi que le matériel et les méthodes sélectionnées pour répondre à la question de recherche seront décrits en détail.

## **DEUXIÈME CHAPITRE – MATÉRIEL ET MÉTHODES**

### **2.1 Devis**

Un devis de recherche quasi expérimental avant-après avec groupe témoin non équivalent a été utilisé dans le cadre de la présente étude. Les participants n'ont pas été répartis de façon aléatoire dans les groupes, mais de sorte à atteindre une équivalence relative entre ceux-ci. L'âge, le sexe, l'indice de masse corporelle, la sévérité du TCC et la durée post TCC étaient les variables pour lesquelles l'appariement était recherché (échantillon apparié). Une méthode d'échantillonnage par choix raisonné (Fortin, 2010) a été adoptée pour réduire le nombre d'abandons au minimum. Les participants qui désiraient participer à la recherche, mais qui ne voulaient pas effectuer le traitement étaient donc placés dans le groupe témoin, alors que les personnes qui désiraient suivre le traitement étaient placés dans le groupe traitement. Les participants recrutés étaient dans une forte proportion (78,5 %) disposés à recevoir le traitement. Après une analyse des avantages et des inconvénients présentés par cette situation, le constat étant qu'il serait difficile d'obtenir deux groupes égaux et appariés, il a été convenu d'offrir le traitement à tous les participants qui désiraient faire partie de ce groupe. Cette décision a été motivée par des motifs éthiques et l'objectif de recruter le plus de participants possible.

Tous les participants à la recherche, y compris ceux du groupe témoin, devaient se soumettre à l'ensemble des évaluations prévues pendant la période de traitement et de relance. Les participants du groupe témoin avaient la possibilité de recevoir le traitement (programme d'exercices) lorsque la période d'expérimentation serait terminée, mais aucun d'entre eux ne s'est prévalu de cette option.

## **2.2 Hypothèses**

Les hypothèses de recherche étaient les suivantes :

- 1) La pratique d'activité physique aérobie entraîne une augmentation de la capacité aérobie.
- 2) La pratique d'activité physique aérobie entraîne une diminution de la fatigue perçue.
- 3) La pratique d'activité physique aérobie engendre une amélioration de l'attention sélective.
- 4) La pratique d'activité physique aérobie engendre une amélioration de l'attention partagée.

## **2.3 Variables à l'étude**

### **2.3.1 Variable indépendante**

- 1) Le programme d'exercice aérobie

### **2.3.2 Variables dépendantes**

- 1) La capacité aérobie
- 2) L'attention sélective
- 3) L'attention partagée
- 4) La fatigue perçue

## **2.4 Population à l'étude**

Les participants de notre étude devaient avoir reçu un diagnostic de TCC modéré ou sévère et devaient avoir terminé leur réadaptation. Le choix de faire notre étude auprès de personnes ayant terminé leur réadaptation a été motivée par deux éléments. Premièrement, en évitant d'effectuer le traitement d'exercice pendant la réadaptation, il devenait plus facile d'isoler l'effet du programme d'exercice sur les variables dépendantes de l'étude, puisque les participants ne recevaient aucun autre traitement simultanément. Deuxièmement, il est attendu que les personnes en réadaptation sont amenés à reprendre progressivement leur habitudes de vie pré lésionnels, ce qui engendre, entres autres, une certaine amélioration de la condition physique. Donc en évitant de recruter des participants en réadaptation, il devenait plus facile d'isoler les effets du programme d'exercice prodigué dans le cadre de notre recherche.

### **2.4.1 Critères de sélection**

Pour être admissibles à la recherche, les personnes intéressées devaient être âgées entre 18 et 65 ans, et avoir subi leur TCC au moins deux ans auparavant. De plus, elles ne devaient rapporter aucun des états pathologiques suivants : angine de poitrine, infarctus du myocarde, cardiopathie congénitale, hypertension artérielle non contrôlée, insuffisance cardiaque ou maladie coronarienne. La limite supérieure d'âge a été fixée à 65 ans, puisqu'au-delà de cet âge nous aurions risqué de mesurer l'effet de l'exercice sur le vieillissement et non seulement sur le TCC (Larson et al., 2006). Les participants potentiels devaient aussi être en mesure de comprendre les consignes verbales simples qui seraient prodiguées lors du traitement et des évaluations et ne pas avoir bénéficié d'un suivi comportant de l'exercice aérobie pendant leur réadaptation. Enfin, les femmes ne devaient pas être enceintes ou allaiter.

### **2.4.2 Stratégie d'échantillonnage et de recrutement**

Des calculs avec le logiciel *G Power III* ont indiqué qu'un échantillon de 20 sujets (10 traitement/10 témoin) suffirait à détecter un effet moyen (0,34) avec une erreur alpha de 5 % (0,05). Les variables utilisées pour estimer l'ampleur de l'effet et faire le calcul de puissance étaient la capacité aérobie, l'attention sélective et l'attention partagée. Six articles ont permis d'estimer l'ampleur de l'effet auprès de la population TCC (Bateman et al., 2001 ; Bhambahani et al., 2003, 2005 ; Grealy et al., 1999 ; Mossberg et al., 2005, 2007).

Un total de 14 participants (11 pour le groupe traitement et 3 pour le groupe témoin) ont été recrutés par l'entremise de divers procédés. Dans un premier temps, une annonce a été publiée dans le journal de l'Association des traumatisés crâniens de l'Abitibi-Témiscamingue (Le Pilier). Dans un deuxième temps, deux visites ont été organisées avec l'association régionale Le Pilier, à des intervalles de huit semaines, pour rencontrer les membres de l'association et leur présenter en détails le déroulement de la recherche et répondre aux questions. En plus des démarches auprès de l'association Le Pilier, une annonce a été publiée dans les journaux locaux en mai 2009 et en janvier 2010, cette sollicitation dans les hebdomadaires régionaux n'a pas permis d'ajouter au nombre de participants.

## **2.5 Instruments de mesure**

### **2.5.1 Relevé des données morphologiques et physiologiques**

La taille et le poids (pèse-personne de type *physicianscale* (Detecto, 1986)), ont été relevés à chaque rencontre d'évaluation. La tension artérielle et la fréquence cardiaque de repos ont aussi été relevées à chaque rencontre d'évaluation avec un tensiomètre automatique à gonflement intelligent de type *Smart Inflate* (*Physio Logic*, 2001). Le tout à titre informatif pour décrire l'échantillon.

La fréquence cardiaque à l'effort était mesurée à l'aide d'un cardiofréquencemètre modèle F-11 (*Polar*, 2007). Le cardiofréquencemètre était porté à chaque évaluation pour mesurer la capacité aérobie (protocole Balke-Ware) ainsi qu'à chaque séance d'exercices pour permettre aux participants d'ajuster leur effort en fonction de la cible d'intensité préétablie.

### **2.5.2 Évaluation de la capacité aérobie**

Le protocole de mesure de la capacité aérobie utilisé dans la présente recherche est le test d'endurance sous maximal de Balke-Ware. Le protocole Balke-Ware a déjà été utilisé auprès de la population traumatisée crânienne et il a été démontré qu'il était sécuritaire et fiable (Hunter et al., 1990 ; Mossberg et al., 2005, 2007). Il s'agit d'un test sous maximal tiré de l'ouvrage de Jones et Rose (2005) qui offre l'avantage d'éviter aux participants de fournir un effort maximal. Ce test n'est pas une mesure directe de la capacité aérobie maximale. Toutefois, Mossberg et Greene (2005) sont arrivés à un coefficient de corrélation de 0,92 sur un test de validité convergente entre ce protocole (sous maximal) et une mesure directe (maximale) avec mesure des échanges gazeux.

Le protocole est relativement court, ne demande pas un effort maximal et est effectué à la marche. Puisque la marche est l'activité la plus susceptible d'être maîtrisée par l'ensemble des participants, cela assure l'utilisation du même protocole pour tous les participants. Ce test d'endurance est effectué à l'aide d'un tapis d'exercice avec inclinaison variable. Le participant doit marcher à une

vitesse de 3,2 kilomètres/heure jusqu'à ce qu'il atteigne 75 % de sa fréquence cardiaque maximale, qu'il demande d'arrêter le test ou qu'il éprouve des difficultés selon l'expérimentateur. Ce test est administré de façon individuelle pour chaque participant et est supervisé par un bachelier en kinésiologie. Le temps requis pour effectuer ce test varie de 15 à 30 minutes selon l'endurance du participant. Pour connaître les détails spécifiques du test, consulter l'annexe A.

### **2.5.3 Test d'attention sélective – Barrage des cloches**

Deux tests ont été utilisés pour mesurer l'attention sélective. Le premier est le test de barrage des cloches (Annexe B) (Gauthier et al., 1989). Ce test consiste à biffer des images de cloches sur une feuille le plus rapidement possible, alors qu'elles sont mélangées parmi d'autres images d'objets. Le temps de réalisation, le nombre de bonnes réponses, le nombre d'omissions et de commissions (autres objets que la cloche biffés) sont notés. Ce test a été choisi puisqu'il offre une bonne validité de construit et de discrimination. En effet, ce test permet de distinguer des groupes avec et sans déficits neurologiques et des lésions de l'hémisphère droit ou gauche (Ferber et Karnath, 2001; Vanier et al. 1990).

### **2.5.4 Test d'attention sélective – d2**

Le test de « d2 » (Annexe B) a aussi été utilisé pour mesurer l'attention sélective (Brikenkamp, 1963). Ce test consiste à biffer, le plus rapidement possible, les lettres « d » qui ont deux traits placés près de la lettre « d ». Une série de lettres « d » (bonnes et mauvaises réponses) est placée en ligne horizontale sur une feuille comportant 15 lignes en tout. Certaines lettres « d » ont deux traits adjacents, et le sujet doit les biffer. D'autres lettres « d » ont plus ou moins de traits adjacents, et le sujet ne doit pas les biffer puisqu'il s'agit de distracteurs. Lors du test, l'expérimentateur demande au sujet de changer de ligne toutes les 20 secondes. Les éléments mesurés sont le nombre de « d2 » correctement identifiés, le nombre d'erreurs (commissions et omissions) ainsi que le nombre total d'items traités. Ce test possède une validité interne de  $\alpha = 0,92$  (alpha de Cronbach).

### **2.5.5 Test d'attention partagée – Brown-Peterson**

Encore une fois, deux tests ont été utilisés pour mesurer l'attention partagée. Le test de Brown-Peterson (Annexe C) (Brown, 1958) consiste à retenir une série de trois lettres (lue par l'expérimentateur) alors que le sujet est distrait parce qu'on lui demande de compter à rebours pendant quelques secondes (variant de 0 à 36). Si le sujet résiste à la distraction et partage son attention adéquatement, il est en mesure de répéter les trois lettres. Des normes sont disponibles pour classer les participants en fonction de leur âge (Strauss, 2006). Ce test possède une validité interne de  $\alpha = 0,85$  (alpha de Cronbach).

### **2.5.6 Test d'attention partagée – Tracé A-B**

Le Tracé A et B (Annexe C) est un simple test papier crayon comportant deux conditions (Strauss, 2006). Le sujet doit premièrement relier entre eux et dans l'ordre les chiffres : 1-2-3... jusqu'à 25. Cela permet de confirmer que la personne est apte à effectuer le test sur le plan visuomoteur. Le sujet doit ensuite relier de nouveau les chiffres, mais alterner avec les lettres de l'alphabet : 1A-2B-3C-4D... jusqu'à 13. Le sujet doit donc faire avancer dans sa tête les deux séquences et alterner l'une avec l'autre. Le temps de réalisation et le nombre d'erreurs sont notés. Il n'y a pas d'effet de pratique pour des intervalles de tests de trois semaines ou plus (Bornstein et al., 1987). Ce test possède une validité interne de  $\alpha = 0,89$  (alpha de Cronbach).

Les tests d'attention partagée et sélective retenus ont été sélectionnés puisqu'ils présentent de bonnes qualités psychométriques (sensibilité et fidélité). De plus, ces tests sont très courts et s'administrent facilement auprès d'une population avec des atteintes cognitives.

### **2.5.7 Évaluation de la fatigue**

L'échelle de fatigue du *Barrow Neurological Institute (BNI)* a été retenue puisqu'elle a été développée spécifiquement pour la population traumatisée crânienne par Borgaro et collaborateurs (2004). Elle consiste en un court questionnaire comportant 11 affirmations. Le répondant doit indiquer, à l'aide d'une échelle de 1 à 7, si l'énoncé ne s'applique pas du tout à sa vie quotidienne (1), ou s'il s'applique très fréquemment (7). Dix énoncés illustrent

des situations courantes. La 11<sup>e</sup> question de l'échelle *BNI* porte sur la perception générale de la fatigue et est évaluée sur dix. Plus le participant attribue une cote élevée à cette question, plus il perçoit sa fatigue comme inconfortable. Le questionnaire se complète en cinq minutes. Le résultat final est comptabilisé en effectuant la somme des valeurs de chaque affirmation. Pour consulter le questionnaire, voir l'Annexe D. Cet outil a déjà été utilisé auprès de la population visée par cette étude et a obtenu une validité interne de  $\alpha = 0,94$  (alpha de Cronbach) (Borgaro, 2004). L'échelle originale de Borgaro est rédigée en anglais. Pour les fins de notre recherche, l'échelle a été traduite en français (Annexe E) selon la méthode de traduction et retraduction (Fortin, 2010).

## **2.6 Déroulement de l'étude**

Lors de la première visite dans les locaux du centre de conditionnement physique le participant recevait les explications à propos du déroulement et des objectifs de la recherche. Le participant pouvait alors poser des questions sur tous les aspects de la recherche. Tous les participants avaient été informés, avant la rencontre initiale, qu'ils pouvaient être accompagnés d'un proche ou d'un membre de leur famille.

Le chercheur procédait ensuite à la lecture du formulaire de consentement (Annexe F) avec le participant intéressé et présentait les objectifs, les avantages, les inconvénients, la procédure ainsi que le déroulement de la recherche. Les critères d'inclusion et d'exclusion étaient rappelés au participant, et le chercheur veillait à ce que celui-ci ait bien compris le formulaire avant de l'inviter à le signer, en soulignant que la participation à la recherche était volontaire et que, si le participant le désirait, il pouvait se retirer de la recherche à tout moment sans devoir fournir d'explications. En outre, le participant était aussi informé que s'il choisissait de se retirer de l'expérience, il pourrait tout de même bénéficier de tous les avantages et récompenses qui étaient prévues dans le cadre de l'expérience.

Après la signature du formulaire de consentement, le relevé des données morphologiques et physiologiques était effectué, et le participant était alors

pesé et mesuré. Il devait ensuite enfiler le brassard du tensiomètre qui permettait d'obtenir la tension artérielle et la fréquence cardiaque au repos. Enfin, le chercheur questionnait le participant à propos de sa pratique d'activités physiques au cours des deux dernières années et avant l'accident.

Après avoir dressé un portrait du niveau d'activité physique pré-lésionnel et post-lésionnel, le chercheur laissait sa place au neuropsychologue qui procédait alors à l'administration des tests neuropsychologiques. Le participant était évalué sans que le neuropsychologue sache si ce dernier appartenait au groupe témoin ou au groupe traitement. En premier lieu, le participant devait évaluer sa fatigue à l'aide de l'échelle de fatigue *BNI*. En deuxième lieu, le neuropsychologue administrait les tests cognitifs (Barrage des cloches, d2, Tracé A et B et Brown-Peterson). La portion d'évaluation effectuée par le neuropsychologue nécessitait environ une heure selon la performance du participant aux différents tests.

Après la portion d'évaluation avec le neuropsychologue, le participant avait une pause d'environ 10 à 15 minutes, pendant laquelle il pouvait se mettre en tenue d'exercices. Ensuite, il devait être appareillé d'un cardiofréquencemètre pour évaluer sa capacité aérobie. Le protocole de test mesurant la capacité aérobie était alors expliqué de nouveau en détails au participant avant que ce dernier n'entreprenne la marche sur le tapis roulant. Le participant était aussi informé que le test pouvait entraîner un essoufflement plus ou moins important, selon son niveau de forme physique, ainsi qu'un léger inconfort (courbatures) s'il n'avait pas l'habitude de faire ce genre d'activité physique (marche sur terrain avec inclinaison). L'évaluation de la capacité aérobie nécessitait de 15 à 30 minutes, selon la performance des participants et le temps nécessaire pour assurer une bonne compréhension du test. Les risques pour la santé physique des participants étaient réduits au minimum puisque les critères d'exclusion permettaient d'identifier et d'exclure les candidats à risque.

Après le test de capacité cardiovasculaire, si le participant faisait partie du groupe traitement, il était informé des jours et plages horaires disponibles pour effectuer ses trois séances d'entraînement hebdomadaires supervisées par un

kinésiologue. Si le participant faisait partie du groupe témoin, on lui mentionnait qu'il devait maintenir ses habitudes de vie liées à l'activité physique pendant la période d'expérimentation (3 mois) et qu'il aurait accès au traitement à la fin des trois mois d'expérimentation.

Une fois l'évaluation initiale terminée (T0), l'ensemble de la procédure d'évaluation était reprise à trois autres moments, soit à la 6<sup>e</sup> (T1), 12<sup>e</sup> (T2) et 24<sup>e</sup> (T3) semaine. Le schéma temporel du déroulement de l'expérience est présenté à l'Annexe G.

Les participants du groupe traitement ont débuté l'entraînement aérobie la semaine suivant l'évaluation initiale (T0). Les séances d'entraînement étaient supervisées par le chercheur principal et par une kinésiologue stagiaire de l'Université de Sherbrooke en dernière année de baccalauréat.

Le traitement consistait en 12 semaines d'exercice aérobie, à raison de trois rencontres par semaine pour un total de 36 séances. Chaque séance d'exercices durait environ 45 minutes au cours desquelles 30 minutes d'exercice aérobie étaient mesurées avec un cardiofréquencemètre pour s'assurer que les participants travaillaient dans une zone de fréquence cardiaque d'intensité modérée. Les autres 15 minutes étaient réparties comme suit : cinq minutes avant la séance pour permettre aux participants de s'échauffer avant de fournir un effort cardiovasculaire d'intensité modéré et dix minutes après la séance pour leur permettre de s'étirer dans le but de réduire les courbatures postexercice. La zone de travail ciblée au cours des 30 minutes d'effort mesuré se situait entre 70 % et 75 % de la fréquence cardiaque maximale et était déterminée à l'aide de la formule suivante :  $220 - \text{âge} * [0,70 ; 0,75]$ .

À chaque rencontre, les participants avaient le choix d'effectuer leur entraînement avec l'un ou l'autre des exercices suivants : simulateur elliptique, tapis roulant, vélo stationnaire ou rameur. Le cardiofréquencemètre était utilisé pour relever les valeurs de fréquences cardiaques moyennes et maximales de chaque participant à la fin de chacune des séances

d'entraînement. L'utilisation du cardiofréquencemètre permettait aussi de suivre, en temps réel, l'intensité de l'effort fourni par les participants. Un signal sonore se faisait entendre lorsque le participant fournissait un effort inférieur ou supérieur à la zone de travail prédéterminée. Dans ces cas, on invitait le participant à réduire ou à augmenter son effort de sorte à rester le plus près possible de sa zone de travail cible.

## **2.7 Analyse des données**

L'inégalité des groupes, ainsi que le petit nombre de participants ont nécessité d'effectuer des analyses non paramétriques pour lesquelles nous avons fixé le seuil de signification à  $p < 0,05$ . Les données ont été analysées à l'aide du logiciel *Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)* en effectuant une analyse de variance pour l'ensemble des variables dépendantes (ANOVA de Friedman). L'équivalence des groupes (traitement et témoin) a été recherchée avec des tests de *Student* sur les variables choisies (sexe, âge, sévérité du TCC). Un participant du groupe traitement a dû être retiré des analyses en raison de ses troubles locomoteurs. Le test utilisé pour évaluer la capacité aérobie dans notre recherche était une mesure indirecte basée sur les pulsations cardiaques pour calculer la capacité aérobie estimée. Les difficultés de locomotion (port d'une orthèse) du participant en question ont obligé ce dernier à fonctionner à haute intensité dès le début du test, ce qui entraînait l'atteinte du plateau d'arrêt tôt dans le test.

## **2.8 Considérations éthiques**

Chaque participant, qu'il ait complété ou non l'expérience, a reçu un gilet d'entraînement à manches courtes et un pantalon court d'entraînement. Aussi, à la fin de la période de traitement supervisée, tous les participants ont reçu un abonnement gratuit de trois mois dans un centre de conditionnement physique, gracieuseté des centres de conditionnement physique associés à la recherche.

## TROISIÈME CHAPITRE – RÉSULTATS

### 3.1 Participants

Des 14 participants recrutés initialement, deux ont choisi de se retirer de l'expérimentation (deux hommes du groupe traitement). Le premier, âgé de 47 ans avait complété quatre séances d'entraînement pendant les deux premières semaines avant de se retirer de l'expérience. Le deuxième, âgé de 39 ans avait complété sept séances pendant les quatre premières semaines. Les deux participants ont évoqué la fréquence des séances d'exercices et la difficulté à suivre les paramètres d'exercices prodigués dans le cadre du traitement comme motifs d'abandon. Aucun des participants ayant choisi de se retirer de la recherche n'ont formulé de plaintes ou de critiques envers la recherche.

L'échantillon final était donc composé de 12 participants (9 pour le groupe traitement et 3 pour le groupe témoin). Le groupe traitement comprenait 5 hommes (moyenne  $44,8 \pm 4,9$  ans) et 4 femmes (moyenne  $39,3 \pm 15,6$  ans). La moyenne d'âge du groupe était de  $42,3 \pm 10,6$  ans. Les participants du groupe traitement étaient en moyenne à 13 ans et 8 mois après leur TCC, avec un écart type de huit ans et cinq mois. Les participants du groupe témoin étaient en moyenne à 20 ans et 3 mois après leur TCC, avec un écart type de quatre ans et huit mois. Ce groupe était composé exclusivement d'hommes dont la moyenne d'âge était  $47,7 \pm 3,7$  ans. Un test de « t » a démontré qu'il n'y avait pas de différence significative d'âge entre les deux groupes. Lors de la première rencontre d'évaluation, les participants du groupe traitement avaient un indice de masse corporelle (IMC) moyen de 28, tandis que ceux du groupe témoin avaient un IMC moyen de 26,2. Un test de « t » a démontré qu'il n'y avait pas de différence significative d'IMC entre les deux groupes au début de l'expérience. Deux participants du groupe traitement souffraient d'hypertension contrôlée et n'ont rapporté aucun malaise tout au long de l'expérimentation. Le Tableau 1 présente les participants selon leur sexe, âge, sévérité du TCC, délai post TCC, IMC et nombre de séances d'entraînement effectuées, pour les participants du groupe traitement.

Tableau 1 :  
Caractéristiques des participants

Groupe	Sexe	Âge	TCC	Post TCC	IMC	Nbr. Séances (36)
Traitement	F	23	Sévère	6 ans 4 mois	19,5	35
	F	29	Sévère	14 ans 3 mois	28,5	27
	M	40	Sévère	17 ans 9 mois	28,9	21
	M	43	Sévère	4 ans 7 mois	32,2	20
	M	43	Modéré	14 ans 2 mois	24,4	34
	M	45	Modéré	9 ans 9 mois	36,9	27
	F	50	Sévère	6 ans 4 mois	21	34
	M	53	Sévère	21 ans 1 mois	36,5	35
	F	55	Sévère	30 ans 3 mois	24,2	36
témoin	M	45	Modéré	25 ans 5 mois	29,5	S/O
	M	46	Modéré	19 ans 2 mois	20,8	S/O
	M	52	Sévère	16 ans 3 mois	28,5	S/O

### 3.2 Adhésion au traitement

Le traitement consistait en 36 séances d'exercices de type aérobie. Les neuf participants du groupe traitement devaient s'exercer pendant 12 semaines pour une période de 30 minutes continues dans une zone prédéterminée d'intensité qui représentait entre 70 % et 75 % de leur fréquence cardiaque maximale. Les participants du groupe traitement ont effectué en moyenne 30 séances (83 %) sur une possibilité de 36 (30 séances  $\pm$  6,3). Le nombre minimum de séances complétées a été de 20 sur 36 (55,6 %) alors que le nombre maximum a été de 36 sur 36 (100 %) (Figure 1).

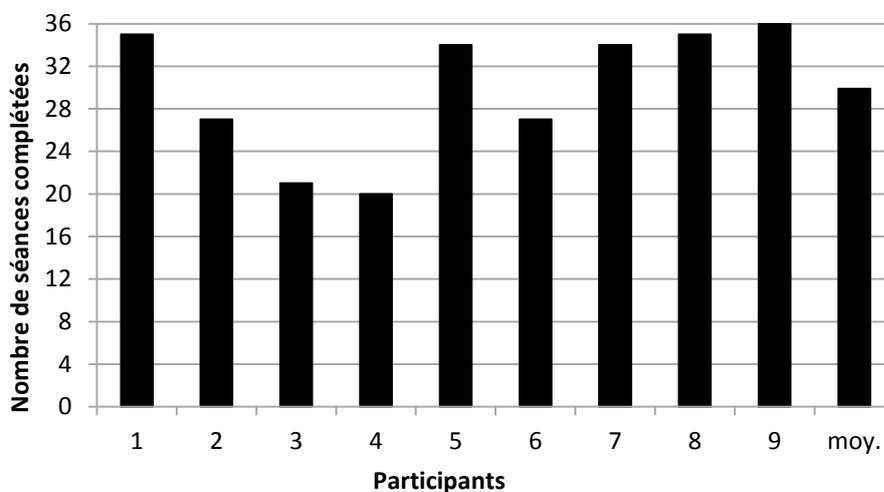


Figure 1. Nombre de séances complétées par participant.

La durée pendant laquelle s'exerçaient les participants était aussi notée à chacune de leur visite au centre de conditionnement. La séance moyenne du groupe était d'une durée de 30 minutes et 39 secondes avec un écart type de 33 secondes. Le participant dont la durée moyenne d'entraînement était la plus élevée, s'entraînait pendant 31 minutes et 31 secondes, alors que le participant dont la durée moyenne d'entraînement était la plus courte s'entraînait pendant 29 minutes et 52 secondes. La Figure 2 illustre la durée moyenne des séances d'entraînement où la ligne pointillée indique la cible de 30 minutes.

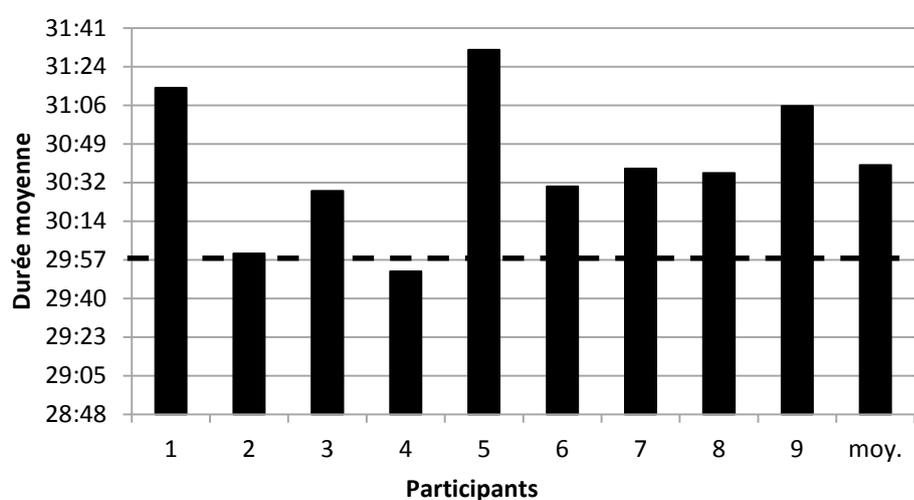


Figure 2. Durée moyenne des séances complétées par participant.

Le pourcentage de la fréquence cardiaque maximale était utilisé pour qualifier l'intensité relative des efforts des participants pendant les séances d'entraînement. Les informations relevées à l'aide du cardiofréquencemètre ont permis de constater, qu'en moyenne, le groupe traitement s'est entraîné à une intensité relative de 72,2 % de la fréquence cardiaque maximale avec un écart type de 6,37 %. Le participant qui a obtenu le résultat le plus élevé s'entraînait en moyenne à 81,3 % de sa fréquence cardiaque maximale, alors que celui qui a obtenu la moyenne la moins élevée s'entraînait à 62,9 % de sa fréquence cardiaque maximale. La zone ombragée représente la cible d'entraînement qui se situait entre 70 % et 75 % de la fréquence cardiaque maximale. La Figure 3 fait état des résultats individuels et du groupe.

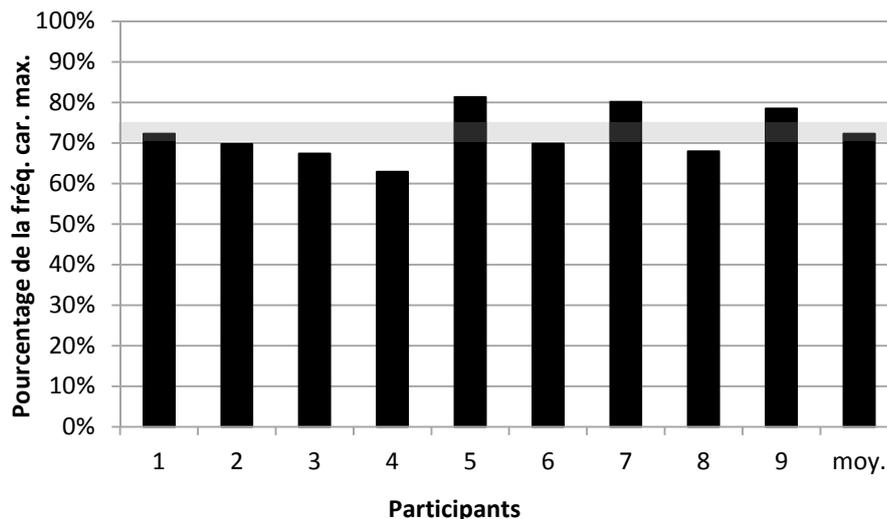


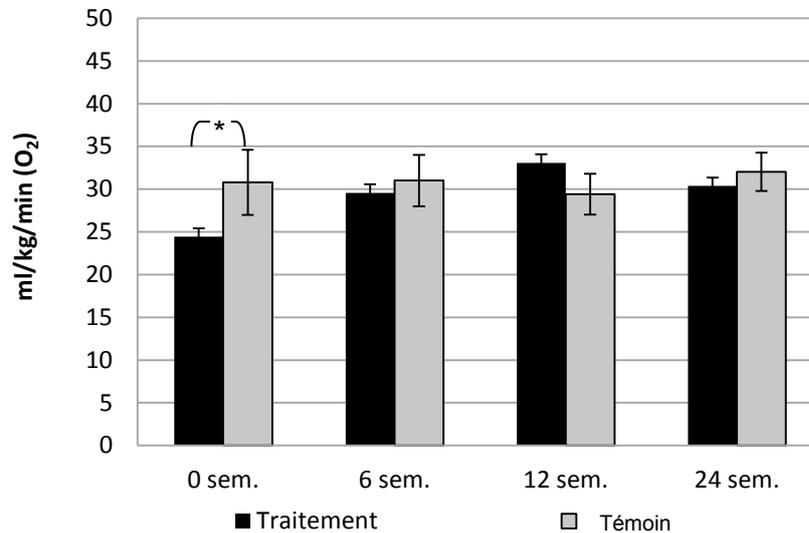
Figure 3. Pourcentage de la fréquence cardiaque maximale par participant.

### 3.3 La capacité aérobie

Tous les participants de la recherche se sont prêtés aux quatre évaluations de la capacité aérobie. À l'évaluation initiale, la capacité aérobie du groupe traitement était significativement moins élevée ( $p < 0,05$ ) que celle du groupe témoin. La capacité aérobie du groupe traitement était de 24,43 ml/kg/min avec un écart type de 4,21 ml/kg/min (minimum : 21,05 ; maximum 33,25 ml/kg/min), alors que celle du groupe témoin était de 30,79 ml/kg/min avec un écart type de 3,81 ml/kg/min (minimum : 26,58 ; maximum 34 ml/kg/min). À la douzième semaine (fin du traitement), cette tendance s'inverse et c'est le groupe traitement qui possède la meilleure capacité aérobie, sans que cette différence atteigne toutefois un seuil de signification. Après le traitement, la capacité aérobie du groupe traitement était de 33,08 ml/kg/min avec un écart type de 6,58 ml/kg/min (minimum : 23,33 ; maximum 45,5 ml/kg/min), alors que celle du groupe témoin était de 29,41 ml/kg/min avec un écart type de 2,4 ml/kg/min (minimum : 26,7 ; maximum 31,2 ml/kg/min). La Figure 4 illustre les résultats moyens du groupe traitement et du groupe témoin aux quatre tests de capacité aérobie effectués à 0, 6 et 12 semaines d'entraînement, puis à 24 semaines (relance).

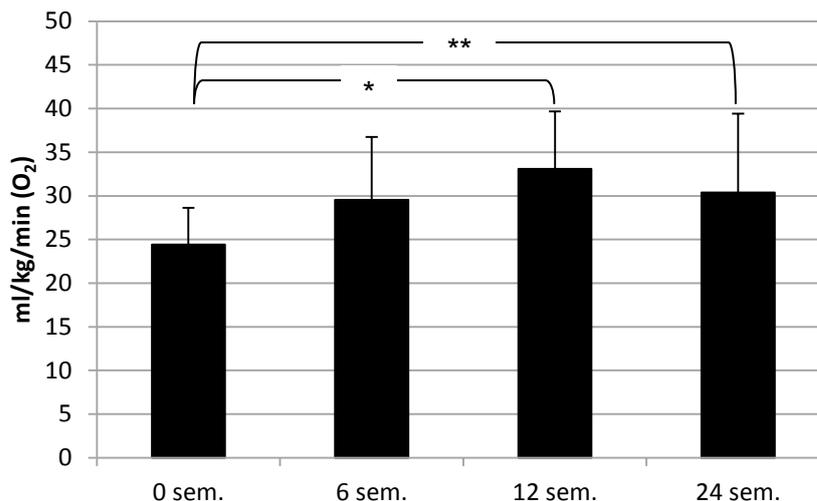
Remarque : pour les fins de la discussion et pour représenter visuellement les résultats, les moyennes de groupe ont été utilisées pour présenter les résultats

des figures 4 à 21, puisque cette méthode est courante et facilite l'interprétation. Cependant, le lecteur doit savoir que les anova de Friedman sont calculées à partir des médianes.



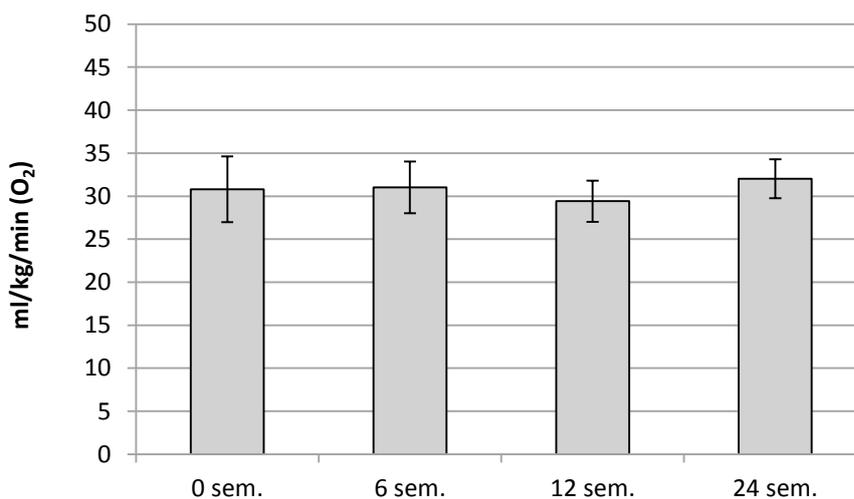
*Figure 4.* Capacité aérobie moyenne à l'évaluation initiale – groupe traitement et groupe témoin.

Tel que mentionné précédemment, la capacité aérobie du groupe traitement était de 24,43 ml/kg/min avec un écart type de 4,21 ml/kg/min (minimum : 21,05 ; maximum 33,25 ml/kg/min) avant d'entreprendre le traitement. Après douze semaines d'exercices, la capacité aérobie du groupe traitement s'est améliorée significativement ( $p < 0,05$ ) pour passer à 33,08 ml/kg/min avec un écart type de 6,58 ml/kg/min (minimum : 23,33 ; maximum 45,5 ml/kg/min). La comparaison de la capacité aérobie entre l'évaluation initiale et l'évaluation de relance à 24 semaines a aussi permis d'observer une amélioration significative ( $p < 0,01$ ). La Figure 5 illustre les résultats moyens du groupe traitement aux quatre tests de capacité aérobie effectués à 0, 6 et 12 semaines d'entraînement, puis à 24 semaines (relance).



*Figure 5.* Résultats de la capacité aérobie moyenne aux quatre temps d'évaluation – groupe traitement.

La Figure 6 illustre les résultats moyens du groupe témoin aux quatre tests de capacité aérobie effectués à 0, 6, 12 et 24 semaines de la recherche. La capacité aérobie du groupe témoin était de 30,79 ml/kg/min avec un écart type de 3,81ml/kg/min (minimum : 26,58 ; maximum 34 ml/kg/min) au début de l'expérience. Après douze semaines, la capacité aérobie du groupe témoin est passée à 29,41 ml/kg/min avec un écart type de 2,4 ml/kg/min (minimum : 26,7 ; maximum 31,2 ml/kg/min). Cette amélioration de la capacité aérobie ne s'est pas avérée significative.



*Figure 6.* Résultats de la capacité aérobie moyenne aux quatre temps d'évaluation – groupe témoin.

La Figure 7 compare la capacité aérobie individuelle de chaque sujet du groupe traitement à la norme canadienne selon son sexe et son groupe d'âge (Shields et al., 2010). La barre grise de l'histogramme représente la capacité aérobie initiale des participants du groupe traitement, tandis que la barre noire de l'histogramme représente la capacité aérobie à la fin du traitement, soit à l'évaluation de la douzième semaine d'entraînement. La ligne noire discontinue représente la norme canadienne pour chaque sujet.

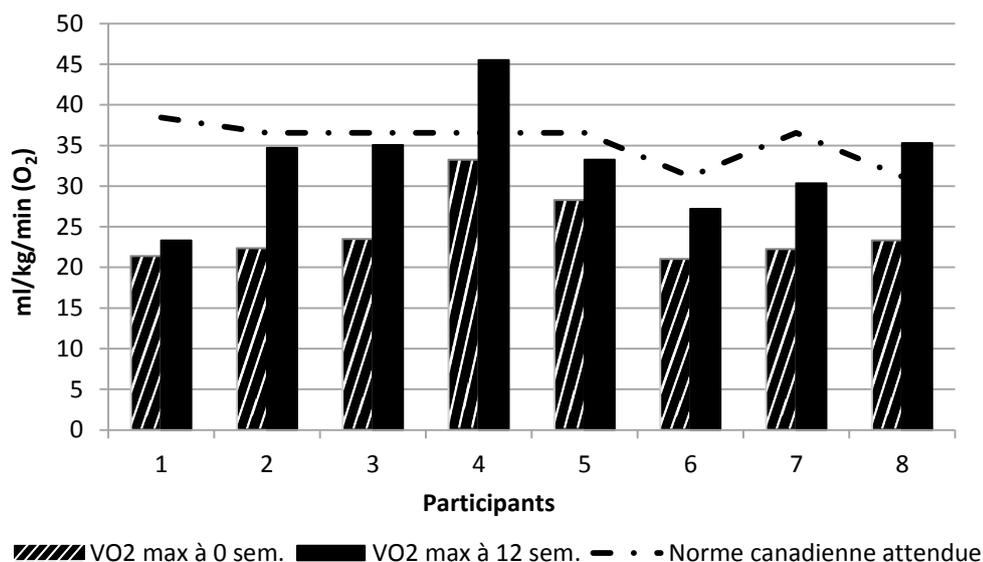
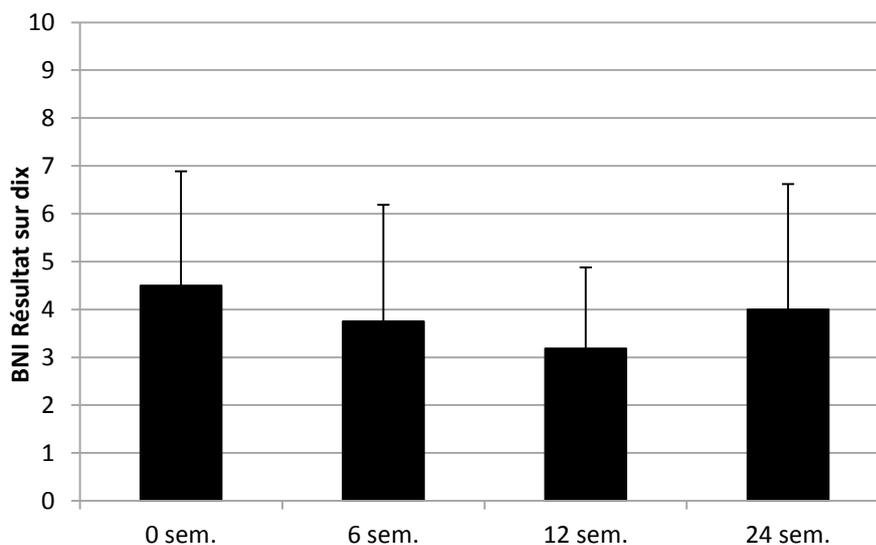


Figure 7. Capacité aérobie à 0 semaine et 12 semaines – comparaison à la norme canadienne attendue – groupe traitement.

### 3.4 La fatigue

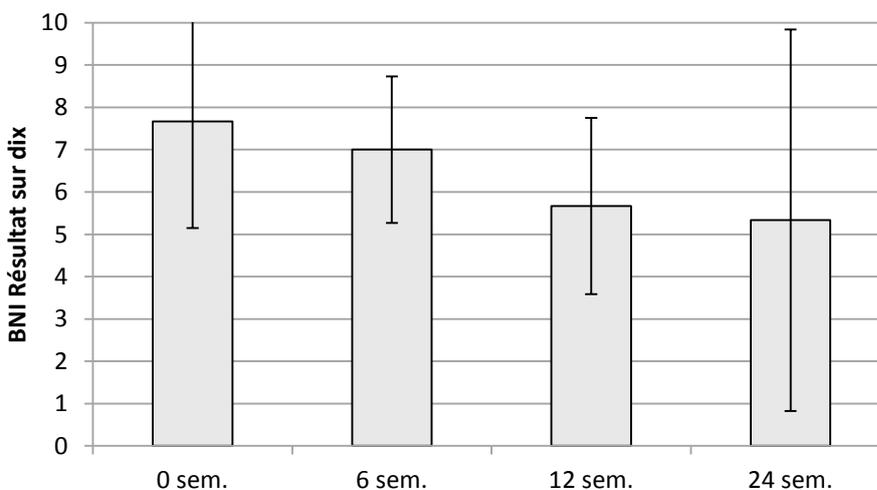
Les participants de la recherche se sont tous prêtés aux quatre évaluations de la perception de la fatigue effectuée avec l'échelle de fatigue *BNI*. Rappelons que le sujet évalue sa fatigue sur une échelle de 1 à 7 en lien avec 10 énoncés se rapportant à des activités de la vie quotidienne. Une évaluation générale de sa fatigue sur une échelle de 0 à 10 est aussi demandée. Avant d'entreprendre le traitement, la perception de la fatigue générale du groupe traitement était de 4,5/10 avec un écart type de 2,39 (minimum : 0/10 ; maximum : 7/10). Après douze semaines d'exercices, la perception de la fatigue générale a diminuée à 3,19/10 avec un écart type de 1,69 (minimum : 0/10 ; maximum : 5/10). La perception de la fatigue générale du groupe traitement ne s'est pas améliorée de manière significative. La Figure 8 illustre les résultats moyens du groupe

traitement aux quatre évaluations de la perception de la fatigue générale à 0, 6, 12 et 24 semaines d'entraînement.



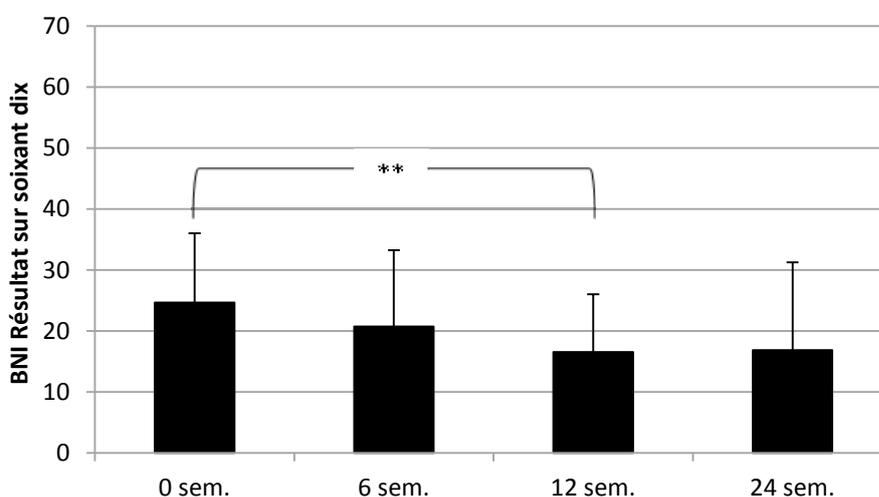
*Figure 8.* Résultats moyen de la perception de la fatigue générale aux quatre temps d'évaluation – groupe traitement.

À l'évaluation initiale, la perception de la fatigue générale du groupe témoin était de 7,67/10 avec un écart type de 2,52 (minimum : 5/10 ; maximum : 10/10). À l'évaluation de la douzième semaine, la perception de la fatigue générale est passée à 5,67/10 avec un écart type de 2,08 (minimum : 4/10 ; maximum : 8/10). Ce changement ne s'est pas avéré significatif. La Figure 9 illustre les résultats moyens du groupe témoin aux quatre évaluations de la perception de la fatigue générale à 0, 6, 12 et 24 semaines.



*Figure 9.* Résultats moyen de la perception de la fatigue générale aux quatre temps d'évaluation – groupe témoin.

En ce qui concerne la perception de la fatigue sous forme d'énoncés spécifiques, les résultats du groupe traitement, était de 24,67/70 avec un écart type de 11,35 (minimum : 0/70 ; maximum : 39/70) avant d'entreprendre le programme d'exercices. Après douze semaines d'exercices, la perception de la fatigue du groupe traitement est passée à 16,56/70 avec un écart type de 9,49 (minimum : 5/70 ; maximum : 29/70). Cette amélioration s'est avérée significative ( $p < 0,01$ ). À la vingt-quatrième semaine, la perception de la fatigue du groupe traitement s'est maintenue à 16,83/70 avec un écart type de 14,44 (minimum : 0/70 ; maximum : 27/70). La Figure 10 illustre les résultats du groupe traitement aux quatre évaluations de la perception de la fatigue sous forme d'énoncés spécifiques à 0, 6, 12 et 24 semaines.



*Figure 10.* Résultats moyen de la perception de la fatigue sous forme d'énoncés aux quatre temps d'évaluation – groupe traitement.

Au début de l'expérience, la perception de la fatigue sous forme d'énoncés spécifiques du groupe témoin était de 37,83/70 avec un écart type de 9,17 (minimum : 27,5/70 ; maximum : 45/70). À l'évaluation de la douzième semaine, la perception de la fatigue sous forme d'énoncés spécifiques du groupe témoin est passée à 36,17/70 avec un écart type de 8,89 (minimum : 26,5/70 ; maximum : 44/70). Cette amélioration ne s'est pas avérée significative. La Figure 11 illustre les résultats du groupe témoin aux quatre évaluations de la perception de la fatigue sous forme d'énoncés spécifiques à 0, 6, 12 et 24 semaines.

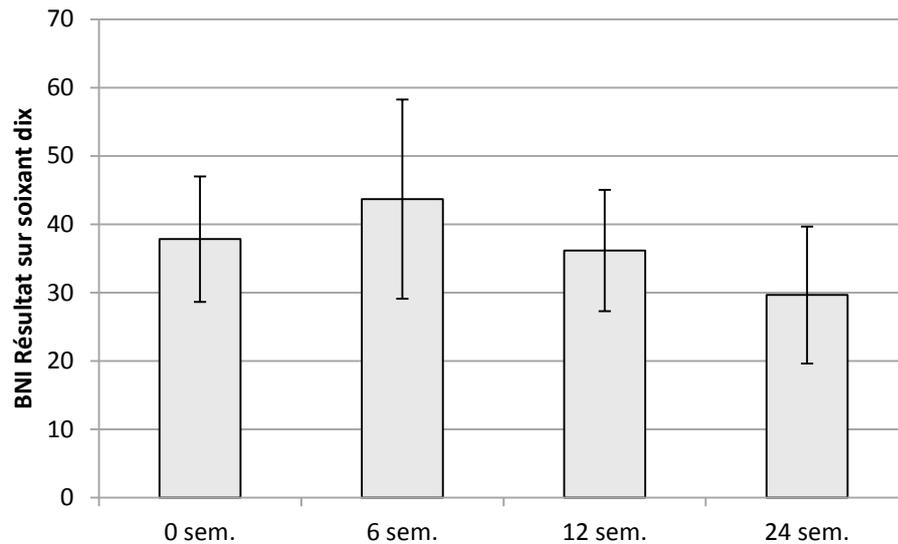


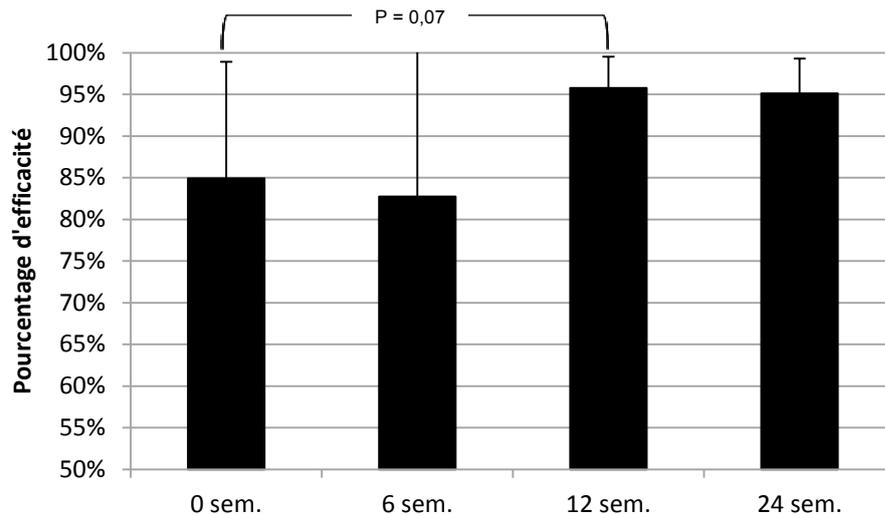
Figure 11. Résultats moyen de la perception de la fatigue sous forme d'énoncés aux quatre temps d'évaluation – groupe témoin.

### 3.5 Les tests d'attention sélective

#### 3.5.1 Le test du d2

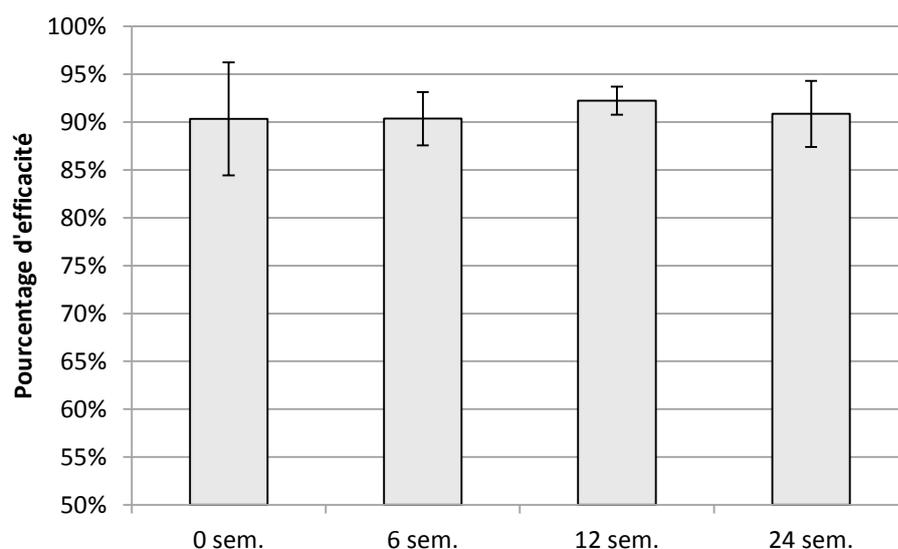
Les participants ont effectué le test du d2. Ce test comportait trois éléments sur lesquels les participants étaient évalués : le nombre de « d2 » correctement identifiés, le nombre d'omissions et le nombre de commissions. Ces éléments étaient ensuite traités de manière à obtenir un pourcentage d'efficacité au test.

Avant d'entreprendre le programme d'exercices, le pourcentage d'efficacité du groupe traitement au test du d2 était de 84 % avec un écart type de 14 % (minimum : 63,3 % ; maximum : 100 %). Après douze semaines d'exercices, le pourcentage d'efficacité est passé à 95,8 % avec un écart type de 3,8 % (minimum : 95,1 % ; maximum : 100 %). Cette amélioration du pourcentage d'efficacité n'atteint pas le seuil de signification désiré ( $p < 0,05$ ), toutefois une tendance à l'amélioration ( $p = 0,07$ ) est observable entre le résultat initial et le résultat à la douzième semaine. La Figure 12 illustre le pourcentage d'efficacité du groupe traitement aux quatre temps d'évaluation de l'attention sélective effectuée avec le test du d2.



*Figure 12.* Pourcentage d'efficacité moyen au test du d2 aux quatre temps d'évaluation – groupe traitement.

En ce qui concerne le groupe témoin, le pourcentage d'efficacité au test du d2 était de 90 % avec un écart type de 5,9 % (minimum : 84,8 % ; maximum : 96,6 %) au début de l'expérience. Après douze semaines, le pourcentage d'efficacité du groupe témoin est passé à 92,2 % avec un écart type de 1,47 % (minimum : 91 % ; maximum : 93,8 %). Ce changement n'est pas significatif. La Figure 13 illustre le pourcentage d'efficacité moyen aux quatre temps d'évaluation de l'attention sélective effectuée avec le test du d2 pour le groupe témoin à 0, 6, 12 et 24 semaines.



*Figure 13.* Pourcentage d'efficacité moyen au test du d2 aux quatre temps d'évaluation – groupe témoin.

### 3.5.2 Le test de barrage des cloches

Les participants des deux groupes ont tous effectué les quatre évaluations de l'attention sélective à l'aide du test des cloches. Le test des cloches comportait quatre éléments sur lesquels les participants étaient évalués : le temps de réalisation, le nombre de réponses correctes, le nombre d'omissions et le nombre de commissions. La feuille de test comporte 35 cibles à identifier.

Avant d'entreprendre le programme d'exercices, le temps de réalisation moyen du groupe traitement était de 134 secondes avec un écart type de 68 secondes (minimum : 64 secondes ; maximum : 274 secondes). Après douze semaines d'exercices, le temps de réalisation moyen du groupe traitement est passé à 133 secondes avec un écart type de 53 secondes (minimum : 50 secondes ; maximum : 203 secondes). Ce changement n'est pas significatif. La Figure 14 illustre les temps de réalisation moyens aux quatre temps d'évaluation de l'attention sélective effectuée avec le test des cloches pour le groupe traitement à 0, 6, 12 et 24 semaines d'entraînement.

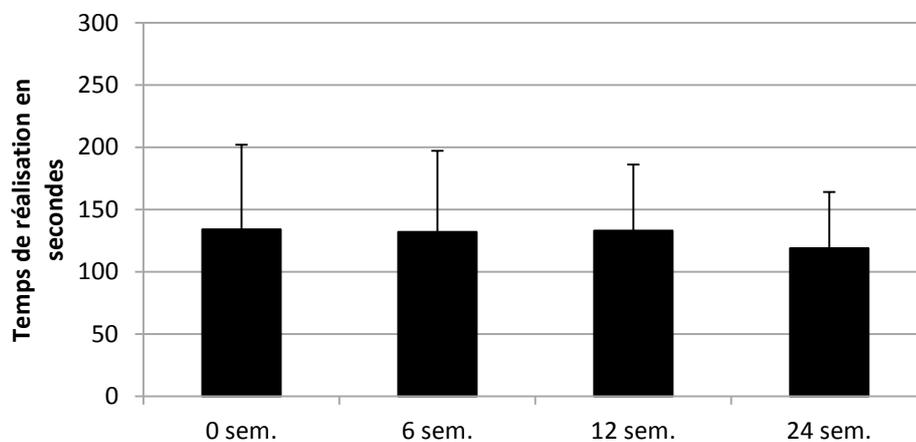
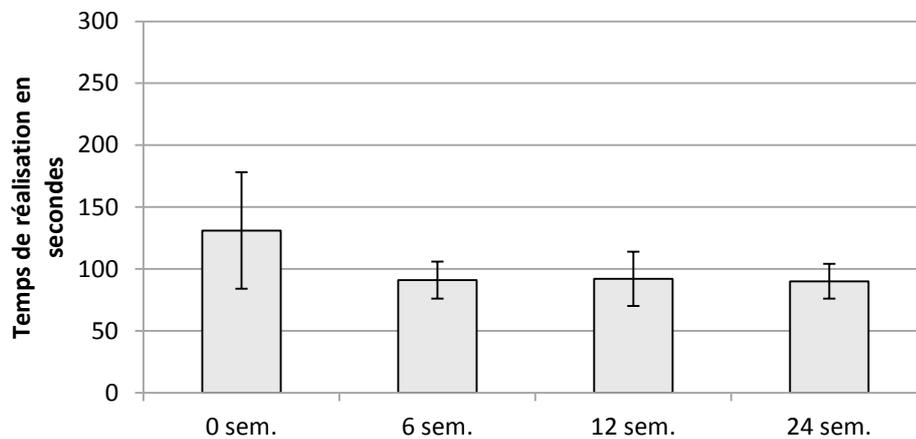


Figure 14. Temps de réalisation moyen du test des cloches aux quatre temps d'évaluation – groupe traitement.

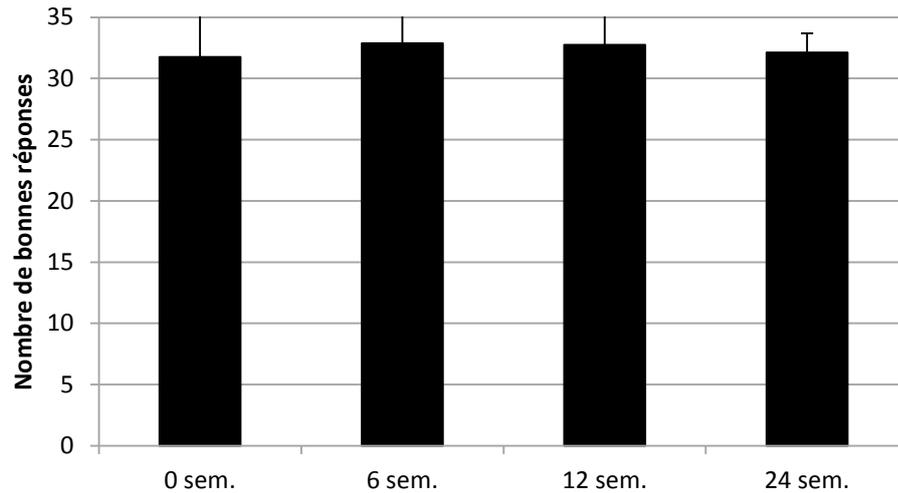
En ce qui concerne le groupe témoin, le temps de réalisation moyen était de 131 secondes avec un écart type de 47 secondes (minimum : 88 secondes ; maximum : 181 secondes) au début de l'expérience. Après douze semaines, le temps de réalisation moyen du groupe témoin est passé à 92 secondes avec un écart type de 22 secondes (minimum : 68 secondes ; maximum : 111

secondes). L'amélioration du temps moyen de réalisation n'est pas significative. La Figure 15 illustre les temps de réalisation moyens aux quatre temps d'évaluation de l'attention sélective effectuée avec le test des cloches pour le groupe témoin à 0, 6, 12 et 24 semaines.



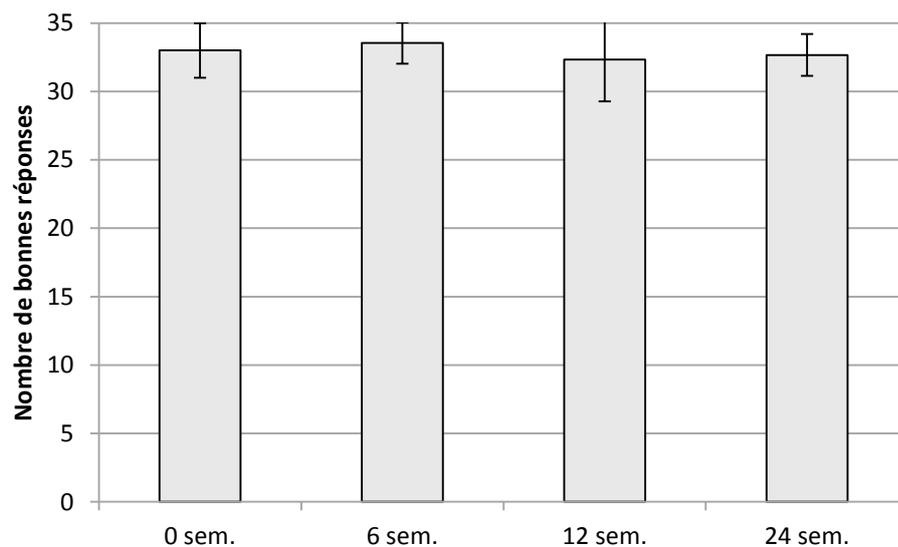
*Figure 15.* Temps de réalisation moyen du test des cloches aux quatre temps d'évaluation – groupe témoin.

Avant d'entreprendre le programme d'exercices, le nombre de bonnes réponses du groupe traitement au test des cloches était de 31,75 avec un écart type de 3,88 (minimum : 31 ; maximum : 35). Après douze semaines d'exercices, le nombre de bonnes réponses du groupe traitement est passé à 32,75 secondes avec un écart type de 3,15 (minimum : 30 ; maximum : 35). L'amélioration du nombre de bonnes réponses n'est pas significative. La Figure 16 illustre le nombre de bonnes réponses aux quatre temps d'évaluation de l'attention sélective effectuée avec le test des cloches pour le groupe traitement à 0, 6, 12 et 24 semaines.



*Figure 16.* Nombre moyen de bonnes réponses au test des cloches aux quatre temps d'évaluation – groupe traitement.

En ce qui concerne le nombre de bonnes réponses, le groupe témoin obtenait un résultat de 33 avec un écart type de 2 (minimum : 31 ; maximum : 35) au début de l'expérience. Après douze semaines, le nombre de bonnes réponses du groupe témoin demeure à 32,33 secondes avec un écart type de 3,06 (minimum : 31; maximum : 34). L'amélioration du nombre de bonnes réponses n'est pas significative. La Figure 17 illustre le nombre moyen de bonnes réponses aux quatre temps d'évaluation de l'attention sélective effectuée avec le test des cloches pour le groupe témoin.



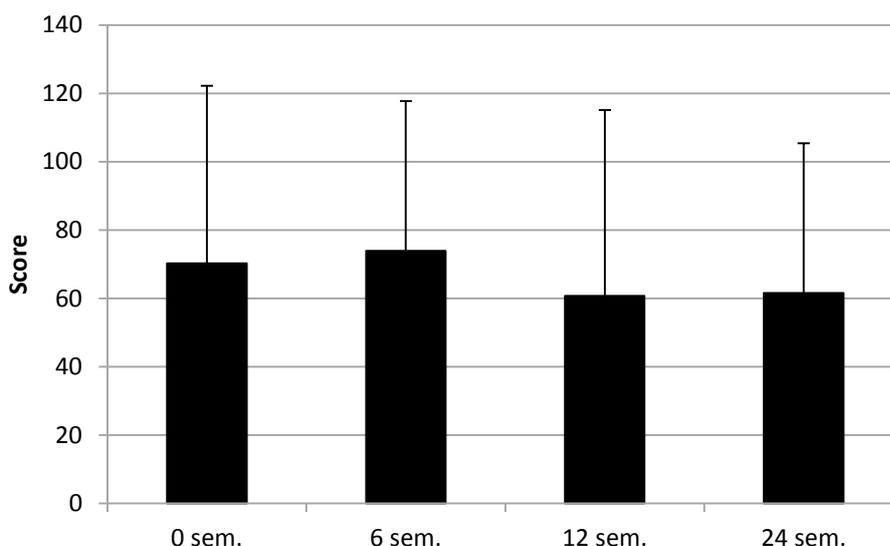
*Figure 17.* Nombre moyen de bonnes réponses au test des cloches aux quatre temps d'évaluation – groupe témoin.

### 3.6 Les tests d'attention partagée

#### 3.6.1 Le test du Tracé A-B

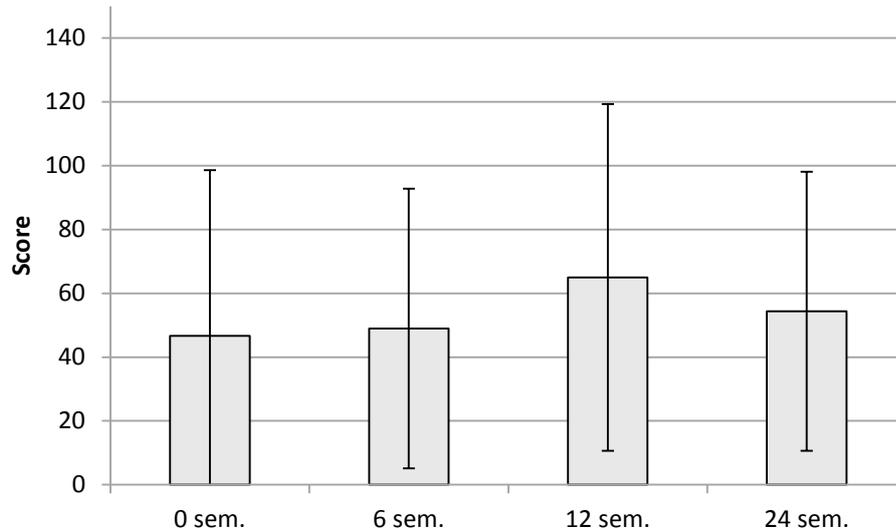
Les participants des deux groupes ont réalisé les quatre évaluations de l'attention partagée à l'aide du test du Tracé A-B. Ce test comportait deux éléments sur lesquels les participants étaient évalués : le temps de réalisation et le nombre d'erreurs (mauvaise alternance).

Au départ, le groupe traitement obtenait un score de 70,25 avec un écart type de 51,97 (minimum : 29; maximum : 187) au test du Tracé A-B. Après douze semaines d'exercices, le score du groupe traitement est passé à 60,75 avec un écart type de 54,32 (minimum : 21 ; maximum : 189). Cette amélioration du score n'est pas significative. La Figure 18 illustre le score du groupe traitement aux quatre temps d'évaluation de l'attention partagée effectuée avec le test du Tracé A-B à 0, 6, 12 et 24 semaines.



*Figure 18.* Score moyen au test du Tracé A-B aux quatre temps d'évaluation – groupe traitement.

En ce qui concerne le groupe témoin, il obtenait un score de 46,67 avec un écart type de 25,15 (minimum : 27 ; maximum : 75) au début de l'expérience. Après douze semaines, le score compilé du groupe témoin est passé à 65 avec un écart type de 41,33 (minimum : 31 ; maximum : 111). Le changement n'est pas significatif. La Figure 19 illustre les scores aux quatre temps d'évaluation de l'attention partagée effectuée avec le test du Tracé A-B pour le groupe témoin.



*Figure 19.* Score moyen au test du Tracé A-B aux quatre temps d'évaluation – groupe témoin.

### 3.6.2 Le test de Brown-Peterson

Le Brown-Peterson a servi à évaluer l'attention partagée. Les participants étaient évalués sur le nombre de bonnes réponses produites avec des délais de rappel variant entre 0 et 36 secondes. Avant de débuter le programme d'entraînement, le groupe traitement obtenait un score de 42,5 avec un écart type de 10,9 (minimum : 28; maximum : 57). Après douze semaines d'exercices, le score du groupe traitement est passé à 50,38 avec un écart type de 8,5 (minimum : 36 ; maximum : 58). Cette amélioration n'est pas significative. La Figure 20 illustre le score du groupe traitement aux quatre temps d'évaluation de l'attention partagée effectuée avec le test de Brown-Peterson.

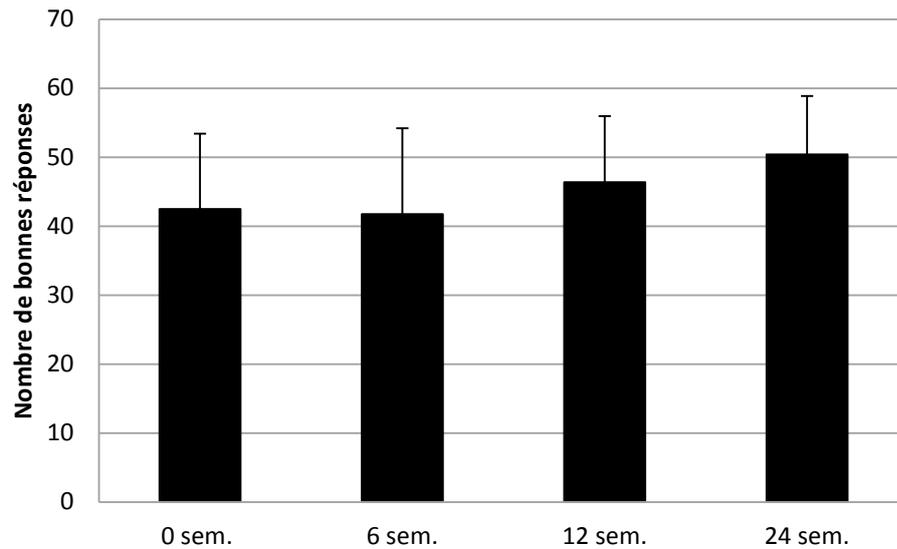


Figure 20. Nombre de bonnes réponses score total moyen – groupe traitement.

Au début de l'expérience, le groupe témoin obtenait un score de 32,33 avec un écart type de 12,5 (minimum : 18 ; maximum : 41) au test de Brown-Peterson. Après douze semaines, le score du groupe témoin est passé à 36,33 avec un écart type de 7,77 (minimum : 30 ; maximum : 45). L'amélioration n'est pas significative. La Figure 21 illustre les scores pour le groupe témoin.

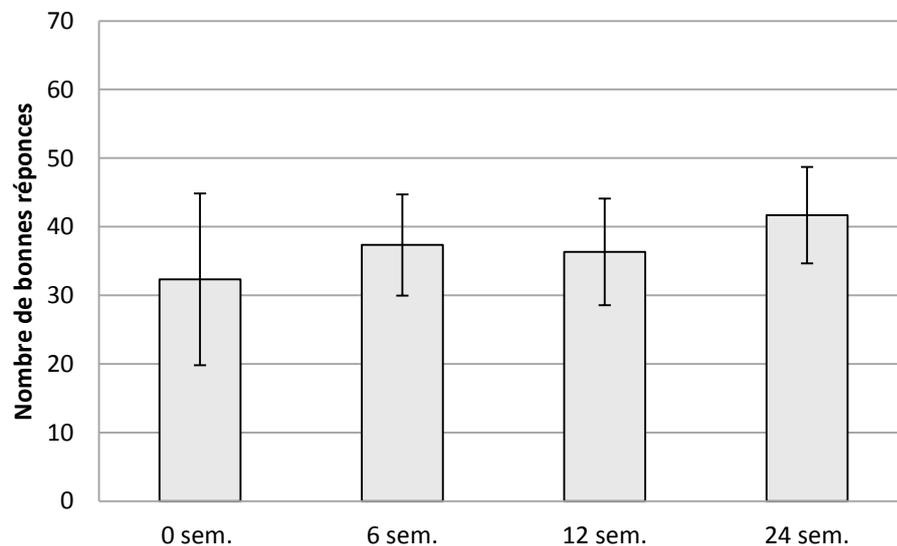


Figure 21. Nombre de bonnes réponses score total moyen – groupe témoin.

## QUATRIÈME CHAPITRE – DISCUSSION

### 4.1 Adhésion au traitement

Les résultats de notre étude reflètent une bonne adhésion au traitement. Dans la population générale, sans pathologie particulière, il est estimé qu'approximativement 50 % des gens qui entreprennent un programme d'exercice aérobie l'abandonnent au cours des six premiers mois (Robison et Rogers, 1994). Les résultats de notre étude font état d'une attrition de 2 participants sur 14 (14 %) et d'une participation moyenne à 30 séances d'exercices sur 36 (83 %). Nos participants s'entraînaient en moyenne pendant 31 minutes et 31 secondes à une intensité moyenne équivalente à 72,2 % de leur fréquence cardiaque maximale. D'autres études ayant effectué un protocole d'exercice aérobie avec des personnes ayant subi un TCC ont obtenu des résultats d'adhésion comparables à ceux de notre étude.

Bhambhani et collaborateurs (2005) ont obtenu un taux d'attrition plus élevé que celui de notre étude (42 %). Dans leur étude, 14 participants sur 26 ont terminé le protocole de recherche avec une participation moyenne à 32 séances sur 36 (88 %) sur une période de 12 semaines. Cette étude ne fait pas état de la durée moyenne des séances complétées ni de l'intensité moyenne de celles-ci. Une autre étude (Bateman et al., 2001) a obtenu une attrition de 12 participants sur 78 (18 %) pour terminer avec 66 sujets ayant effectué en moyenne 24 séances d'entraînement sur 12 semaines. Les séances d'exercices des participants de cette étude duraient en moyenne 23 minutes. Cette étude ne présente pas de résultats relatifs à l'intensité moyenne des séances d'exercices des participants.

L'adhérence élevée qui ressort de notre protocole peut s'expliquer par le fait que les participants qui suivaient le traitement étaient en petits groupes supervisés par des professionnels de l'activité physique (kinésiothérapeutes) qui les encourageaient et les encadraient à chacune des séances d'exercices. Aussi, le choix d'opter pour une répartition non aléatoire selon la convenance des participants a probablement favorisé un faible taux d'attrition.

#### **4.2 L'amélioration de la capacité aérobie**

Cette recherche comparait l'amélioration de la capacité aérobie d'un groupe de personnes neurotraumatisées suivant un programme d'exercice aérobie supervisé à un deuxième groupe ne faisant pas d'exercice. Les participants du groupe traitement se sont améliorés de façon significative ( $p < 0,05$ ) entre l'évaluation initiale et l'évaluation à la 12<sup>e</sup> semaine. Cette amélioration s'est maintenue à la relance à la 24<sup>e</sup> semaine ( $p < 0,01$ ). Les participants du groupe témoin n'ont obtenu aucune amélioration entre l'évaluation initiale et les trois autres évaluations. L'amélioration de la capacité aérobie obtenue est comparable aux résultats obtenus par d'autres groupes de recherche qui ont étudié la capacité aérobie chez des personnes ayant subi un TCC modéré ou sévère (Bateman et al., 2001 ; Bhambhani et al., 2005 ; Hunter et al., 1990 ; Janakowski et al., 1990 ; Wolman et al., 1994)

Par exemple, Bateman et collaborateurs (2001) démontré qu'il était possible d'améliorer la puissance maximale mesurée en Watt de 33 %. Soixante-trois participants devaient suivre un programme d'exercices similaire à celui prodigué dans le cadre de la recherche présentée dans ce mémoire : 12 semaines d'entraînement aérobie, 3 séances de trente minutes par semaine et une intensité relative de 65 % de la fréquence cardiaque maximale à respecter. Le groupe témoin était formé de 55 participants qui étaient invités à effectuer des exercices de relaxation en guise de contrôle. Les exercices de relaxation étaient effectués à la même fréquence que le traitement d'exercice aérobie, soit trois fois par semaine, pendant 12 semaines. Il est important de souligner que tous les participants à la recherche de Bateman et collaborateurs (2001) étaient en phase active de réadaptation. C'est-à-dire qu'ils se voyaient prodiguer d'autres services de réadaptation en parallèle avec le traitement de l'expérience, alors que les participants à notre recherche devaient avoir terminé leur réadaptation depuis au moins deux ans.

Bhambhani et collaborateurs (2005) ont aussi été en mesure d'observer une amélioration significative de la capacité aérobie chez 14 personnes ayant subi un TCC modéré ou sévère. Le traitement prodigué dans cette recherche était comparable à notre protocole, soit : 12 semaines d'entraînement en circuit

(aérobie et exercices de force/endurance), trois séances de 60 minutes par semaine à une intensité relative cible fixée à 60 % de la fréquence cardiaque de réserve. Toutefois, il n'y avait pas de groupe témoin. Au terme des 12 semaines, les participants de cette recherche ont amélioré leur puissance maximale mesurée en Watt de 41 %, leur capacité aérobie absolue de 33,3 % et leur capacité aérobie relative de 22,5 %.

Peu d'études discutées précédemment ont mesuré le maintien de la capacité aérobie après la période de traitement. Notre protocole de recherche a effectué une relance 12 semaines après la fin des séances supervisées pour mesurer le maintien des acquis des participants. En comparant les résultats de capacité aérobie de la relance à ceux de l'évaluation initiale, on constate que les participants du groupe traitement bénéficient toujours d'une amélioration significative ( $p < 0,01$ ) de leur capacité aérobie (figure 5).

Les résultats de notre recherche relatifs à la capacité aérobie sont donc comparables à ceux obtenus dans les recherches précédentes. En ce qui concerne la capacité aérobie, les participants qui effectuaient le traitement se sont améliorés de 24,4 % entre l'évaluation initiale à zéro semaine (24,43 ml/kg/min) et l'évaluation de la 12<sup>e</sup> semaine (30,4 ml/kg/min). Il est important de mentionner qu'une telle amélioration de la capacité aérobie en seulement 12 semaines n'est pas commune. En effet, cette amélioration de la capacité aérobie des personnes ayant subi un TCC modéré ou sévère pourrait s'expliquer par le fait que leur capacité aérobie correspond approximativement à 60 % - 75 % de la capacité aérobie d'une personne en santé du même sexe et du même groupe d'âge, ce qui pourrait avoir une influence positive sur le potentiel d'amélioration de la capacité aérobie de ces personnes lorsqu'un entraînement régulier à une intensité personnalisée est offert.

Avant d'entreprendre le traitement, la capacité aérobie moyenne des participants de notre recherche correspondait à 70 % de la valeur attendue selon la norme canadienne (Shields et al., 2010). Cette norme est basée sur les résultats de l'Enquête canadienne sur les mesures de la santé 2007, 2009. L'observation d'une capacité aérobie réduite de nos participants à l'évaluation

initiale concorde avec la littérature scientifique à ce sujet. Il est estimé que la capacité aérobie des personnes ayant subi un TCC modéré ou sévère se situe entre 60 % et 75 % de la capacité aérobie attendue d'une personne en santé du même sexe et du même groupe d'âge (Bhambhani et al., 2003 ; Mossberg et al., 2007). Après 12 semaines de traitement, nos participants obtiennent un résultat moyen équivalent à 94 % de la norme canadienne pour leur sexe et groupe d'âge. Cette amélioration de la capacité aérobie est statistiquement significative ( $p < 0,05$ ) et n'est observable seulement qu'auprès des participants du groupe traitement, le groupe témoin n'ayant pas progressé durant la période de l'expérience.

Nos résultats en lien avec l'amélioration de la capacité aérobie du groupe traitement par rapport à la norme canadienne pour des personnes sans traumatisme crânien permettent de croire que le programme d'exercices utilisé dans notre protocole de recherche serait efficace pour aider les gens qui ont subi un TCC modéré ou sévère à retrouver une capacité aérobie normale. Les bénéfices d'un tel gain au niveau de l'endurance cardiorespiratoire pourraient avoir une incidence positive sur plusieurs activités de la vie quotidienne, ainsi que sur la fatigue post TCC.

#### **4.3 L'amélioration de la perception de la fatigue**

Nos résultats démontrent que la perception de la fatigue, évaluée à l'aide des énoncés spécifiques de l'échelle *BNI*, s'est améliorée de manière significative ( $p < 0,01$ ) pour le groupe traitement entre l'évaluation initiale et l'évaluation à la 12<sup>e</sup> semaine. Toutefois, l'analyse statistique des réponses du groupe traitement à la question portant sur la perception de la fatigue générale n'a démontré aucune amélioration significative. Il est possible que les difficultés cognitives et mnésiques associées aux lésions cérébrales de nos participants aient rendu plus difficile la perception de changement sur leur fatigue par rapport à un énoncé général, comparativement à plusieurs énoncés spécifiques et concrets portant sur des habitudes de vie et des activités de la vie quotidienne.

Nos résultats démontrent aussi que les bénéfices en lien avec la perception de la fatigue se poursuivent après le traitement. En effet, la dernière évaluation de

notre protocole de recherche, à 24 semaines, permet de constater que l'amélioration de la perception de la fatigue se maintient dans le temps.

La littérature scientifique n'est pas encore capable de préciser par quel mécanisme l'amélioration de la capacité aérobie peut avoir un effet bénéfique sur la perception de la fatigue (Mossberg et al., 2010). D'autres études sont nécessaires pour mieux documenter les mécanismes physiologiques et neurologiques qui permettent de diminuer la fatigue perçue chez des personnes neurotraumatisées. Parmi les mécanismes physiologiques qui pourraient expliquer en partie l'amélioration de la fatigue chez les TCC, citons la diminution relative de l'effort physique nécessaire pour s'acquitter d'une tâche à la suite de l'amélioration de la capacité aérobie. En d'autres mots, l'amélioration de la capacité aérobie d'une personne neurotraumatisée pourrait lui permettre de bénéficier d'une plus grande réserve d'énergie pour s'acquitter de ses tâches de la vie quotidienne (hypothèse du *coping*) (Belmont et al., 2006).

#### **4.4 L'amélioration des fonctions cognitives**

Une des hypothèses de notre recherche portait sur l'amélioration de l'attention sélective en lien avec la pratique d'activités physiques. Deux tests ont été utilisés pour vérifier l'amélioration de l'attention sélective. Le test du d2 a permis d'observer une tendance vers l'amélioration ( $p=0,07$ ). Cette tendance permet de supposer qu'avec un plus grand nombre de participants, nous aurions peut-être atteint le seuil de signification ( $p<0,05$ ).

En ce qui concerne le test des cloches aussi utilisé pour évaluer l'attention sélective, aucune tendance à l'amélioration ne fut observée. Par contre, nous avons constaté que tant les participants du groupe traitement que ceux du groupe témoin avaient très bien performé à ce test dès l'évaluation initiale à zéro semaine d'entraînement. De fait, certains participants ont même obtenu un score parfait à leur premier test. En résumé, le test d'attention sélective des cloches ne permet pas de distinguer un effet positif ou négatif par rapport au traitement étant donné le plafonnement sur cette mesure.

L'autre hypothèse de notre recherche à propos des fonctions cognitives portait sur l'amélioration de l'attention partagée. Nous n'avons pas été en mesure d'observer une amélioration significative à l'un ou l'autre des tests utilisés pour mesurer cette aptitude cognitive. Cependant, au test de Brown-Peterson nous avons pu observer que les participants du groupe traitement ainsi que ceux du groupe témoin performaient mieux d'une évaluation à une autre. Or, cette amélioration ne pouvait être reliée au traitement, puisque le groupe témoin a progressé de façon similaire au groupe traitement. En effet, il s'agirait plutôt d'un effet d'apprentissage. Certains participants nous ont même fait part des stratégies qu'ils avaient développées pour améliorer leur performance au test de Brown-Peterson. Certains participants associaient les trois lettres à retenir à des prénoms de personnes qu'ils connaissaient bien. D'autres participants traçaient avec leur doigt sur leur cuisse les lettres à retenir pendant qu'ils étaient distraits à compter à rebours.

D'autres études ont aussi vérifié la possibilité qu'un traitement de nature aérobie puisse avoir un effet positif sur l'amélioration des fonctions cognitives. Parmi celles-ci, nommons l'étude de Grealy et al, (1999). Tel que décrit précédemment dans le présent mémoire, cette étude a été réalisée auprès de 13 personnes ayant subi un TCC dont les résultats ont été comparés à 25 autres sujets TCC qui n'avaient pas reçu de traitement d'exercice aérobie. Le traitement d'exercices prodigué aux 13 participants consistait en des séances d'effort cardiovasculaire d'une durée de 25 minutes, à raison de trois séances par semaine pour une durée de six semaines. Les tests utilisés pour mesurer l'attention étaient un test de substitution (*digit symbol*, sous-test du WAIS-III qui mesure la vitesse du traitement de l'information et la coordination visuo-motrice) et un test de Tracé A-B identique à celui utilisé dans notre protocole. Cette étude arrive à la conclusion que les participants du groupe traitement s'améliorent de manière significative ( $p < 0,01$ ) au test de substitution par rapport aux participants du groupe témoin.

Plusieurs recherches visant l'étude du lien entre l'exercice aérobie et son effet sur le cerveau après un TCC ont été effectuées avec des modèles animaux. Ces études bénéficient de la possibilité d'étudier directement les structures

neurophysiologiques ciblées. Deux hypothèses visant à expliquer comment le fait d'améliorer la capacité aérobie d'un organisme pourrait faciliter la récupération des fonctions cognitives après un TCC ressortent de ces études.

La première hypothèse stipule que la pratique d'exercice aérobie après un TCC permettrait d'optimiser la récupération en augmentant la production de certains facteurs de croissance neurologiques tels que le BDNF (Griesbach et al., 2004a, 2004b, 2007, 2012 ; Lojovich, 2010). Cette hypothèse fait référence à la possibilité que l'exercice aérobie permette d'améliorer la réparation du cerveau à la suite d'un TCC.

Par exemple, Itoh et collaborateurs (2011) arrivent à la conclusion que l'exercice aérobie favoriserait la prolifération des cellules souches à proximité des zones du cerveau ayant été lésées par un TCC et, par le fait même, optimiserait la réparation du cerveau à la suite d'un TCC. Dans cette étude, 72 rats ont été divisés aléatoirement en deux groupes égaux de 36 rats. La moitié des rats (groupe traitement) devait s'exercer sur un tapis roulant pendant 60 minutes par jour, jusqu'à l'autopsie, soit trois ou sept jours après le TCC. En ce qui concerne la prolifération des cellules souches, une différence significative ( $p < 0,01$ ) en faveur du groupe traitement est observable à trois et à sept jours post TCC.

La deuxième hypothèse visant à expliquer comment l'amélioration de la capacité aérobie pourrait favoriser la récupération des fonctions cognitives après un TCC porte sur la diminution des dommages secondaires à la suite d'un TCC. Ainsi, il serait possible de limiter la mort cellulaire (apoptose) et la prolifération des cellules gliales (tissus cicatriciel) en effectuant des exercices cardiovasculaires après un TCC.

Par exemple, l'étude de Kim et collaborateurs (2010) arrive à la conclusion que l'exercice aérobie permet de réduire significativement l'apoptose neuronale dans la région de l'hippocampe. Cette étude a séparé 50 rats en quatre groupes : un groupe témoin (10 rats), un groupe témoin exercice (10 rats), un groupe avec induction d'un TCC (15 rats), un groupe exercice avec induction

d'un TCC (15 rats). Les rats des groupes exercice (25 rats) devaient effectuer 30 minutes d'exercices par jour pendant dix jours consécutifs. Les résultats de cette recherche révèlent une réduction significative ( $p < 0,01$ ) de la cascade biochimique de l'apoptose neuronale au niveau du gyrus dentelé de l'hippocampe dans le groupe exercice avec induction d'un TCC. Ce type de recherche auprès d'un modèle animal s'avère intéressant pour identifier des pistes théoriques visant à expliquer la relation positive entre l'amélioration de la capacité aérobie et la récupération des fonctions cognitives à la suite d'un TCC. Toutefois, puisque des recherches de ce type ne sont pas effectuées chez l'humain, elles fournissent seulement des pistes d'explications théoriques quant aux améliorations neurophysiologiques qui pourraient permettre à des personnes ayant subi un TCC de mieux s'acquitter de certaines tâches spécifiques ou de mieux fonctionner dans leur vie quotidienne.

En résumé, nos résultats démontrent qu'il est possible de ramener la capacité aérobie de personnes ayant subi un TCC modéré ou sévère à la normale en 12 semaines à l'aide d'un programme d'exercice aérobie soutenu et supervisé. Dans cette population, la perception de la fatigue et le fonctionnement cognitif ne semblent pas être complètement indépendante de l'augmentation de la capacité aérobie, puisque nous avons pu observer une amélioration de la fatigue perçue, ainsi qu'une forte tendance vers une amélioration de l'attention sélective chez les sujets du groupe traitement ayant augmenté leur capacité aérobie. Les mécanismes et hypothèses visant à expliquer cette relation sont de plus en plus étudiés auprès de sujets animales. Néanmoins, d'autres études doivent être effectuées auprès de sujets humains en utilisant des méthodes de mesures moins invasives, telles les tests cognitifs et les échelle de fatigue et d'autonomie fonctionnel pour mieux documenter et comprendre cette relation complexe entre la santé physique et la santé mentale.

#### **4.5 Forces de l'étude**

La grande majorité des outils et de tests de mesures utilisés dans le cadre de notre recherche avaient été préalablement utilisés et validés auprès de population d'individu ayant subi un TCC. Par conséquent, les biais de mesures sont réduits au minimum et les résultats de notre recherche sont plus facilement

comparables avec les quelques rares études ayant documenté la même question de recherche qui nous intéresse (Kumar, 2005). Dans le même ordre d'idées, il est aussi important de souligner que le neuropsychologue administrait les tests cognitifs et le questionnaire de fatigue à l'aveugle. De ce fait, le biais d'évaluation est réduit au minimum, puisque le neuropsychologue ne sachant pas si le participant recevait ou non le traitement. La réduction au maximum de ces deux biais (de mesure et d'évaluation) contribue à augmenter la validité interne de notre recherche (Marczyk et al., 2005). Dans un autre ordre d'idées, aucune recherche n'avait encore étudié les effets d'un traitement d'exercice aérobie sur des personnes ayant terminé leur réadaptation post TCC (ce qui permet d'isoler l'effet du traitement d'activité physique par rapport aux autres traitements conventionnels). De ce fait, les résultats de notre étude sont originaux et permettent d'envisager la pertinence d'un continuum de service à long terme qui pourrait permettre aux personnes victimes de TCC modéré ou sévère de maintenir une condition physique plus près de la normale que si ils sont laissé à eux-mêmes. Par ailleurs, contrairement aux études dont le traitement est prodigué en centre de réadaptation ou en réadaptation fonctionnelle intensive, notre protocole de recherche était réalisé dans des centres de conditionnement physique de la communauté, ce qui permet de reproduire facilement ce protocole. Enfin, la forte participation des sujets du groupe traitement témoigne de la possibilité d'instaurer une habitude de vie durable reliée à la pratique d'activité physique chez des personnes ayant subi un TCC modéré, ou sévère.

#### **4.6 Limites de l'étude**

Bien que notre recherche ait été réalisée auprès de sujets humains, le faible nombre de participants implique la possibilité de ne pas avoir pu détecter certains effets du traitement (erreur de type 2). Par ailleurs, la possibilité pour les sujets de choisir de recevoir ou non le traitement implique un biais de sélection (Vallerand, 2000) et limite la généralisation de nos résultats. Plusieurs moyens ont été utilisés pour augmenter le nombre de participants à l'étude. En plus de présentations en personne, des annonces ont été publiées dans le journal de l'Association des traumatisés crâniens de l'Abitibi-Témiscamingue ainsi que dans les journaux de la région. La prévalence des TCC modérés ou

sévères dans la population peut être estimé à 11 cas par 100 000 personnes. La population de l'Abitibi-Témiscamingue s'élève à 146 000 personnes, ce qui correspond à une prévalence ajustée de 16 cas pour la région. Compte tenu que dans la région le nombre de participants potentiel était limité, on peut considérer que la stratégie de recrutement a été efficace pour réussir à recruter 14 participants. La décision d'opter pour une répartition non aléatoire et selon la convenance des participants amène un biais relatif aux attentes des participants du groupe traitement. Les participants étaient tous informés que, pour des considérations éthiques, ils auraient accès au traitement à la fin de l'étude même s'ils faisaient partie du groupe témoin. Malgré cette possibilité, la grande majorité des participants étaient disposés à participer à l'étude seulement s'ils avaient immédiatement accès au traitement. C'est afin d'être en mesure de réaliser l'étude que l'équipe de recherche a choisie d'opter pour la répartition non aléatoire et selon la convenance des participants, sans quoi l'étude n'aurait pas pu être menée. Enfin, il faut considérer les limites méthodologiques précédemment énoncées et être prudent dans la généralisation et l'interprétation des résultats de la présente recherche.

#### **4.7 Conclusion**

Notre recherche s'ajoute aux études qui se sont intéressé à l'effet de l'exercice aérobic sur l'amélioration de la forme physique, de la fatigue perçue et des performances cognitives de personnes ayant subi un TCC modéré ou sévère. Les résultats de notre étude viennent appuyer les écrits scientifiques en démontrant qu'un programme d'exercice aérobic supervisé peut permettre à des personnes ayant subi un TCC modéré ou sévère d'améliorer significativement ( $p < 0,05$ ) leur capacité aérobic. En seulement 12 semaines, les participants ayant suivi le traitement sont passés d'une capacité aérobic équivalente à 70 % pour atteindre 94 % de la norme canadienne attendue pour un canadien du même sexe et du même âge. Par ailleurs, nos résultats démontrent une diminution significative de la fatigue perçue ( $p < 0,01$ ). Les fonctions cognitives mesurées (attention sélective, attention partagée) ne se sont pas améliorées significativement chez les participants du groupe traitement, toutefois une tendance ( $p = 0,07$ ) est observable en ce qui concerne l'attention sélective.

Au terme de cette recherche, nous sommes en mesure d'affirmer qu'un programme d'exercice aérobie supervisé avec des paramètres d'intensité et de durée adaptés permet d'améliorer la forme physique et la fatigue perçue des personnes ayant subi un TCC modéré ou sévère. Nos résultats suggèrent qu'il y a un intérêt à favoriser l'intégration d'activités physiques aérobies dans la réadaptation de ces personnes. Les associations dédiées à l'amélioration et au maintien de la qualité de vie des victimes de TCC ont aussi avantage à favoriser le maintien de la pratique d'activités physiques au-delà de la réadaptation. Les participants du groupe traitement étaient en moyenne à treize ans et huit mois post TCC. Notre étude permet de mettre en évidence la pertinence d'offrir des services de conditionnement physique à long terme, puisque même plusieurs années post TCC, nous avons obtenu une amélioration significative de la capacité aérobie et de la fatigue perçue. Les liens entre la réduction de la fatigue perçue et l'amélioration de la capacité aérobie ne sont pas encore bien documentés dans la littérature concernant les personnes ayant subi un TCC. Toutefois, nos résultats suggèrent que l'amélioration de la capacité aérobie et l'amélioration de la fatigue perçue ne sont pas complètement indépendantes, puisque ces deux variables ont connu une amélioration significative dans le cadre de notre étude.

D'autres études chez l'humain sont encore nécessaires pour déterminer quelles évaluations cognitives seraient les plus robustes, fiables et sensibles pour mesurer les changements au niveau des performances cognitives à la suite de l'amélioration de la capacité aérobie. Aussi, d'autres études sont nécessaires pour préciser la fenêtre d'entraînement idéale pour avoir un effet optimal sur la réadaptation des fonctions cognitives dans la population des TCC modérés et sévères. Enfin, il serait souhaitable que d'autres études se questionnent sur les possibilités de traitement ayant le potentiel de favoriser le maintien des acquis en 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> phase de réadaptation pour les personnes victimes de TCC ayant terminé leur réadaptation.

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce projet de recherche. Nancy Julien, directrice de recherche, ainsi que Jacques Bernier, neuropsychologue, qui ont été présents et d'un grand soutien à chaque étape de cette étude. Je dois remercier la fondation de l'UQAT (FUQAT), qui a permis de financer en partie ce projet, ainsi que le Fond institutionnel de la recherche (FIR-CRSH) en regard de la bourse octroyée pour la présentation de nos résultats au 79<sup>e</sup> congrès de l'ACFAS. Je remercie aussi l'association des traumatisés crâniens de l'Abitibi-Témiscamingue pour leur grande collaboration dans la réalisation de ce projet de recherche. Je tiens aussi à souligner la collaboration des centres de conditionnement physique de la région, Momentum et Cardio-Forme. Enfin, je remercie ma conjointe pour son aide ainsi que son soutien moral et technique au cours de ce processus rigoureux qu'est la réalisation d'une recherche clinique. Merci Caroline!

## RÉFÉRENCES

- Agence de la santé publique du Canada. (2011). Web. Dans *activité physique* [En ligne]. Adresse Web : <http://www.phac-aspc.gc.ca> (Consulté le 24 février 2012).
- Ahlskog, J. E. (2011). Does vigorous exercise have a neuroprotective effect in Parkinson disease. *Neurology*, 77 (3), 288-294.
- Ament, W. et Verkerke, G. J. (2009). Exercise and fatigue. *Sports medicine*, 39 (5), 389-422.
- Andersson, E. E., Bedics, B. K. et Falkmer, T. (2011). Mild traumatic brain injury : a 10 years follow-up. *Journal of rehabilitation medicine*, 43, 323-329.
- Ando, S., Kobayashi, S., Waki, H., Kon, K., Fukui, F., Tadenuma, T., Iwamoto, M., Takeda, Y., Izumiyama, N., Watanabe, K. et Nakamura, H. (2002). Animal model of dementia induced by entorhinal synaptic damage and partial restoration of cognitive deficits by BDNF and carnitine. *Journal of neuroscience research*, 70, 519-527.
- Annoni, J. M. et Colombo, F. (2011). Troubles cognitifs et comportementaux après lésion cérébrale : impact sur la reprise professionnelle. *Revue médicale Suisse*, 7, 944-947.
- Ausloos, G. (1995). *La compétence des familles*. Genève : Éditions Erès.
- Azouvi, P., Vallat-Azouvi, C. Belmont, A. (2009). Cognitive deficits after traumatic coma. *Progress in brain research*, 177, 89-110.
- Azouvi, P., Couillet, J., Leclercq, M., Martin, Y., Asloun, S. et Rousseaux, M. (2004). Divided attention and mental effort after severe traumatic brain injury. *Neuropsychologia*, 42 (9), 1260-1268.
- Bateman, A., Culpan, F. J., Pickering, A. D., Powell, J. H., Scott, O. M., et Greenwood, R.J. (2001). The effect of aerobic training on rehabilitation outcomes after severe brain injury : a randomized controlled evaluation. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 82, 174-182.
- Belmont, A., Agar, N., Hugeron, C., Gallais, B. et Azouvi, P. (2006). Fatigue et traumatisme crânien. *Annales de réadaptation et de médecine physique*, 49, 283-288.
- Bhambhani, Y., Rowland, G. et Farag, M. (2005). Effects of circuit training on body composition and peak cardiorespiratory responses in patients with moderate to severe traumatic brain injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 86, 268-276.
- Bhambhani, Y., Rowland, G. et Farag, M. (2003). Reliability of cardiorespiratory responses in patients with moderate to severe traumatic brain injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 84, 1629-1636.
- Borg, G.A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and science in sports and exercises*, 14, 377-381.
- Borgaro, S. R., Gierok, S., Caples, H. et Kwasnica, C. (2004). Fatigue after brain injury : initial reliability study of the BNI fatigue scale. *Brain injury*, 7, 685-690.
- Bornstein, R.A., Baker, G.B. et Douglas, A.B. (1987). Short-term retest reliability of the Halstead-Reitan battery in normal sample. *Journal of nervous and mental disease*, 175, 229-232.
- Brickenkamp, R. (1981). *Le test D2 d'attention*. Paris : Editest.

- Brown, J. (1958). Some tests of the decay theory of immediate memory. *Quarterly journal of experimental psychology*, 10, 12-21.
- Bushnik, T., Englander, J. et Wright, B. A. (2008). Patterns of fatigue and its correlates over the first 2 years after traumatic brain injury. *The journal of head trauma rehabilitation*, 23 (1), 25-32.
- Cage, F. H. (2004). Structural plasticity of adult brain. *Dialogues in clinical neuroscience*, 6 (2), 135-141.
- Cantor, J. B., Ashman, T., Gordon, W., Ginsberg, A., Engmann, C., Egan, M., Spielman, L., Dijkers, M. et Flanagan, S. (2008). Fatigue after traumatic brain injury and its impact on participation and quality of life. *The journal of head trauma rehabilitation*, 23, 41-51.
- Cappa, K. A., Conger, J. C. et Conger, A. J. (2011). Injury severity and outcome : a meta-analysis of prospective studies on TBI outcome. *Health psychology*, 30 (5), 542-560.
- Carter, R., Aldridge, S., Page, M. et Parker, S. (2010). *Le cerveau humain*. Québec : Éditions ERPI.
- Centers for disease control and prevention. (2011). Surveillance for traumatic brain Injury - related deaths - United States, 1997–2007. *Morbidity and mortality weekly report*, 60 (5).
- Centre de Recherche Interdisciplinaire en Réadaptation du Montréal métropolitain. (2005). *Recherche interdisciplinaire en réadaptation et traumatisme cranio cérébral, nouvelles perspectives théoriques et cliniques*. Montréal : Les publications du CRIR.
- Chadler, T., Berelowitz, G., Pawlikowska, T., Watts, L., Wessely, S., Wright, D. et Wallace E. P. (1993). Development of a fatigue scale. *Journal of psychosomatic research*, 37 (2), 147-153.
- Chua, K. S., Ng. Y. S., Yap, S. G. et Bok, C. W. (2007). A brief review of traumatic brain injury rehabilitation. *Annals of the academy of medicine, Singapore*, 36, 31-42.
- Cifu, D.X., Keyser-Marcus, L., Lopez, E., Wehman, P., Kreutzer, J.S., Englander, J. et High, W. (1997). Acute predictors of successful return to work 1 year after traumatic brain injury : a multicenter analysis. *Archives of physical medicine rehabilitation*, 78, 125-131.
- Colantonio, A., Ratcliff, G., Chase, S., Kelsey, S., Escobar, M. et Vernich, L. (2004). Long term outcomes after moderate to severe traumatic brain injury. *Disability and rehabilitation*, 26 (5), 253-261.
- Colcombe, S. J., Erickson, K. I., Scalf, P. E., Kim, J. S., Prakash, R., McAuley, E., Elavsky, S., Marquez, D. X., Hu, L. et Kramer A. F. (2006). Aerobic exercise training increases brain volume in aging humans. *Journals of gerontology series A : Biological sciences and medical sciences online*, 66, 1166-1170.
- Colcombe, S. J. et Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults : a meta-analytic study. *Psychological science*, 14, 125-130.
- Craig Hospital. (2012). Web. Dans *traumatic brain injury inpatient program* [En ligne]. Adresse Web : <http://www.craighospital.org/TBI/ipprogram.asp> (Consulté le 24 février 2012).
- Dawson, D. R. et Chipman, M. (1995). The disablement experienced by traumatically brain-injured adults living in the community. *Brain injury*, 9, 339-353.

- Decuyper, M. et Klimo, P. (2012). Spectrum of traumatic brain injury from mild to severe. *The surgical clinics of North America*, 92 (4), 939-957.
- Englander, J., Bushnik, T., Oggins, G. et Katznelson, L. (2010). Fatigue after traumatic brain injury : association with neuroendocrine, sleep, depression and other factors. *Brain injury*, 24 (12), 1379-1388.
- Erdfelder, E., Faul, F., et Buchner, A. (1996). GPOWER : a general power analysis program. *Behavior research methods, instruments and computers*, 28, 1-11. (disponible au <http://www.psych.uni-duesseldorf.de/aap/projects/gpower>)
- Echemendia, J. R. et Cantu, R. C. (2003). Return to play following sports-related mild traumatic brain injury : the role for neuropsychology. *Applied neuropsychology*, 1, 48-55.
- Egan, M. F., Weinberger, D. R. et Lu, B. (2003). Schizophrenia III : brain-derived neurotrophic factor and genetic risk. *American journal of psychiatry*, 160, 1242.
- Ferber, S., Karnath, H. O. (2001). How to assess spatial neglect-line bisection or cancellation tests? *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 23, 599-607.
- Fortin, M. F. (2010). *Fondements et étapes du processus de recherche* (2<sup>e</sup> éd.). Montréal : Éditions Chenelière éducation.
- Friedland, R. P., Fritsch, T., Smyth, K. A., Koss, E., Lerner, A. J., Chen, C. H., Petot, G. J. et Debanne, S. M. (2001). Patients with Alzheimer's disease have reduced activities in midlife compared with healthy control-group members. *Proceedings of the national academy of science of the United States of America*, 98, 3440-3445.
- Fulcher, K. Y. et White, P. D. (1997). Randomised controlled trial of graded exercise in patients with the chronic fatigue syndrome. *British medical journal*, 314, 1647-1652.
- Gauthier, L., DeHaut, F. et Joannette, Y. (1989). The bells test : a quantitative and qualitative test for visual neglect. *International journal of clinical neuropsychology*, 11, 49-54.
- Gomez-Pinilla, F., Ying, Z., Roy, R. R., Molteni, R., et Edgerton, V. R. (2002). Voluntary exercise induces a BDNF-mediated mechanism that promotes neuroplasticity. *Journal of neurophysiology*, 88, 2187-2195.
- Grealy, M. A., Johnson, D. A. et Rushton, S. K. (1999). Improving cognitive function after brain injury : the use of exercise and virtual reality. *Academy of physical medicine and rehabilitation*, 80, 661-667.
- Griesbach, G. S., Tio, D. L., Vincelli, J., McArthur, D. L. et Taylor D. N. (2012). Differential effects of voluntary and forced exercise after traumatic brain injury on stress responses. *Journal of neurotrauma*, 29 (7), 1426-1433.
- Griesbach, G. S., Gomez-Pinilla, F. et Hovda, D. A. (2007). Time window for voluntary exercise-induced increases in hippocampal neuroplasticity molecules after traumatic brain injury is severity dependent. *Journal of neurotrauma*, 24, 1161-1171.
- Griesbach, G. S., Hovda, D. A., Molteni, R., WU, A. et Gomez-Pinilla, F. (2004). Voluntary exercise following traumatic brain injury : Brain-derived neurotrophic factor upregulation and recovery of function. *Neuroscience*, 125, 129-139.

- Griesbach, G. S., Gomez-Pinilla, F. et Hovda, D. A. (2004). The upregulation of plasticity-related proteins following TBI is disrupted with acute voluntary exercise. *Brain research*, 1016, 154-162.
- Hassett, L., Moseley, A. M., Tate, R. et Harmer, A. R. (2009). Fitness training for cardiorespiratory conditioning after traumatic brain injury. *The cochrane library*, (3), 33 p.
- Heegaard, W. et Biro, M. (2007). Traumatic brain injury. *Emergency medicine clinics of North America*, 25, 655-678.
- Hillman, C. H., Erickson, K. I. et Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart : exercise effects on brain and cognition. *Nature reviews neuroscience*, 9, 58-65.
- Horsfield, S. A., Rosse, R. B., Tomasino, V., Schwartz, B. L., Mastropalo, J. et Deutsch, S. I. (2002). Fluoxetine's effects on cognitive performance in patients with traumatic brain injury. *International journal of psychiatry in medicine*, 32, 337-344.
- Hsieh, C. C., Sprod, L. K., Hydock D. S., Carter S. D., Hayward, R. et Schneider, C. M. (2008). Effects of a supervised exercise intervention on recovery from treatment regimens in breast cancer survivors. *Oncology nursing forum*, 35 (6), 909-915.
- Hunter, M., Tomberlin, J., Kirkikis, C. et Kuna, S. (1990). Progressive exercise testing in closed head-injury subjects : comparison of exercise apparatus in assessment of a physical conditioning program. *Physical therapy*, 70, 363-371.
- Institut canadien d'information sur la santé. (2007). *Le fardeau des maladies, troubles et traumatismes neurologiques au Canada*, Ottawa.
- Itoh, T., Imano, M., Nishida, S., Tsubaki, M., Hashimoto, S., Ito, A. et Satou, T. (2010). Exercise increases neural stem cell proliferation surrounding the area of damage following rat traumatic brain injury. *Journal of neural transmission*, 118, 193-202.
- Jankowski, L. W. et Sullivan, S. J. (1990). Aerobic and neuromuscular training : effect on the capacity, efficiency, and fatigability of patients with traumatic brain injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 71, 500-504.
- Jha, A., Weintraub, A., Allshouse, A., Morey, C., Cusick, C., Kittelson, J., Harrison-Felix, C., Whiteneck, G. et Gerber, D. (2008). A randomized trial of modafinil for the treatment of fatigue and excessive daytime sleepiness in individuals with chronic traumatic brain injury. *The journal of head trauma rehabilitation*, 23, 52-63.
- Jones, C. J. et Rose D. J. (2005). *Physical activity : instruction of older adults*. Champaign, human kinetics.
- Kaplan, G. B., Vasterling, G. G. et Vedac, P. C. (2010). Brain derived neurotrophic factor in traumatic brain injury, post-traumatic stress disorder and their comorbid condition : role in pathogenesis and treatment. *Behavioural pharmacology*, 21, 427-437.
- Kerr, J. R., Wyllie, A. H. et Currie, A. R. (1972). Apoptosis : a basic biological phenomenon with wide-ranging implications in tissues kinetics. *British Journal of cancer*, 26, 239-257.
- King, N. S., Crawford, S., Wenden, F. J., Moss, N. E., Wade, D. T. (1995). The rivermead post-concussion symptoms questionnaire : a measure of symptoms commonly experienced after head injury and its reliability. *Journal of Neurology*. 242 (9), 587- 592.

- Kim, D. H., Kim., Ko, I. G., Kim, B. K., Kim T. W., Kim, S. E., Shin, M. S., Kim, C. J., Kim, H., Kim K, M., et Baek, S. S. (2010). Treadmill exercise inhibits traumatic brain injury-induced hippocampal apoptosis. *Physiology and behavior*, 101, 660-665.
- Kohl, A. D., Wylie, G. R., Genova, H. M., Hillary, H. G. et Deluca, J. (2009). The neural correlates of cognitive fatigue in traumatic brain injury using functional MRI. *Brain injury*, 23 (5), 410-432.
- Kosakevitch-Ricbourg, L. (2006) Mild brain injuries : definition, classifications and prognosis. *Revue de stomatologie et de chirurgie maxillo-faciale* 107, 201-205.
- Kumar, R., (2005). *Research methodology : a step by step guide for beginners* (2<sup>e</sup> éd.). London : Publications Sage.
- LaChapelle, D. L. et Finlayson, M. A. J. (1998). An evaluation of subjective and objective measures of fatigue in patients with brain injury and healthy controls. *Brain injury*, 12 (8), 649-659.
- Lagares, A., Ramos, A., perez-Nunez, A., Ballenilla, F., Alday, R., Gomez, P. A., Kaen, A. et Lobato, R. D. (2009). The role of MR imaging in assessing prognosis after severe and moderate head injury. *Acta neurochirurgica*, 151, 341-356.
- Larson, E.B., Wang, L., Bowen, J.D., McCormick, W.C., Teri, L., Crane, P., et Kukull, W. (2006). Exercise is associated with reduced risk for incident dementia among persons 65 years of age and older. *Annals of internal medicine*. 144, 73-81.
- Laureys, S., Piret, S. et Ledoux, D. (2005). Quantifying consciousness. *The lancet neurology*, 4 (12), 789-790.
- Laurin, D., Verreault, R., Lindsay, J., MacPherson, K. et Rockwood, K. (2001). Physical activity and risk of cognitive impairment and dementia in elderly persons. *Archives of neurology*, 58, 498-504.
- Levine, J.M., et Flanagan, S.R. (2010). Rehabilitation of traumatic brain injury. *Psychiatric clinics of North America*.(33), 877-891.
- Levine J. M., et Greenwald, B. D. (2009). Fatigue in Parkinson disease, stroke, and traumatic brain injury. *Psychiatric clinics of North America*, 20 (2), 347-361.
- Lezak, M.D., Howieson, D.B., et Loring, D.W. (2004). *Neuropsychological assessment* (4<sup>e</sup>éd.). New York : Oxford university press.
- Lojovich, J. M. (2010). The relationship between aerobic exercise and cognition : is movement medicinal. *Journal of head trauma rehabilitation*, 25 (3), 184-192.
- Magliaro, F. C., Matas, S. L. et Matas C. G. (2009). Cognitive potential - P300 in patients with right hemisphere ischemic lesion. *Pró-fono revista de atualização científica*, 21 (4), 285-290.
- Maegele, M., Riess, P., Sauerland, S., Bouillon, B., Hess, S., McIntosh, T. K., Mautes, A., Brockmann, M., Koebke, J. et Knifka, J. (2005). Characterization of a new rat model of experimental combined neurotrauma. *Shock*, 23, 476-481.
- Manu, P., Lane, T. J., et Matthews, D. A. (1992). Chronic fatigue syndromes in clinical practice. *Psychotherapy and psychosomatics*, 58, 60-68.
- Marczyk, G. R., DeMatteo, D. et Festinger, D. (2005). *Essentials of research design and methodology*. New Jersey : Publications John Wiley and sons.

- McAllister, T. W. (2011). Neurobiological consequences of traumatic brain injury. *Dialogues in clinical neurosciences*, 13, 287-300.
- McArdle, W., Katch, F. et Katch, V. (2001). *Physiologie de l'activité physique* (4<sup>e</sup> éd.). Paris : Éditions Maloine.
- McDonnell, M., Smith, A. et Mackintosh, S. (2011). Aerobic exercise to improve cognitive function in adults with neurological disorders : a systematic review. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 92, 1044-1052.
- McMillan, T., Robertson, I. H., Brock, D. et Chorlton, L. (2002). Brief mindfulness training for attentional problems after traumatic brain injury : a randomised control treatment trial. *Neuropsychological rehabilitation*, 12 (2), 117-125.
- Menon, D.K., Schwab, K., Wright, D.W. et Mass A.I. (2010). Position statement : definition of traumatic brain injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 91, 1637-1640.
- Molteni, R., Ying, Z. et Gomez-Pinilla, F. (2002). Differential effects of acute and chronic exercise on plasticity-related genes in the rat hippocampus revealed by microarray. *The European journal of neuroscience*, 16, 1107-1116.
- Morgan, W. P. (1994). Psychological components of effort sense. *Medicine and science in sports and exercise*, 26 (9), 1071-1077.
- Mossberg, K. A., Amonette, W. E. et Masel, B. E. (2010). Endurance training and cardiorespiratory conditioning after traumatic brain injury. *Journal of head trauma rehabilitation*, 25 (3), 173-183.
- Mossberg, K. A., Ayala, D., Baker, T., Heard, J. et Masel, B. (2007). Aerobic capacity after traumatic brain injury : comparison with a nondisabled cohort. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 88, 315-320.
- Mossberg, K. A. et Greene, B. (2005). Reliability of graded exercise testing after traumatic brain injury : submaximal and peak responses. *American journal of physical medicine and rehabilitation*, 84, 492-500.
- Myles, W. S. (1985). Sleep deprivation, physical fatigue, and the perception of exercise intensity. *Medicine and science in sports and exercise*, 17, 580-584.
- Ollat, H., (2002). L'apoptose neuronale. *Neuropsychiatrie : tendances et débats*, 18, 27-37.
- Radak, Z, Kumagai, S, Taylor, A.W., Naito, H et Goto, S. (2001). Effects of exercise on brain function : role of free radicals. *Applied physiology, nutrition and metabolism*, 32, 942-946.
- Robison, J. I. et Rogers, M. A. (1994). Adherence to exercise programmes : recommendations. *Sports medicine*, 17 (1), 39-52.
- Rhyu, I. J., Bytheway, J. A., Kohler, S. J., Lange, H., Lee, K. J., Boklewski, J., McCormick, K., Williams, N. I., Stanton, G. B., Greenough, W. T. et Cameron, J. L. (2010). Effects of aerobic exercise training on cognitive function and cortical vascularity in monkeys. *Neuroscience*, 167, 1239-1248.
- Riley, M. S., O'Brien, C. J., McCluskey, D. R., Bell, N. P. et Nicholls, D. P. (1990). Aerobic work capacity in patients with chronic fatigue syndrome. *British medical journal*, 301, 953-956.
- Sandhaug, M., Andelic, N., Vatne, A., Seiler, S. et Mygland, A. (2010). Functional level during sub-acute rehabilitation after traumatic brain injury : Course and predictors of outcome. *Brain injury*, 24 (5), 740-747.

- Seo, T. B., Kim, B. K., Ko, I. G., Kim, D. H., Shin, M. S., Kim, C. J., Yoon, J. H. Et Kim H. (2010). Effect of treadmill exercise on Purkinje cell loss and astrocytic reaction in the cerebellum after traumatic brain injury. *Neuroscience letters*, 481, 178–182.
- Shen, H., Tong, L., Balazs, R. et Cotman, C.W. (2001). Physical activity elicits sustained activation of the cyclic AMP response element-binding protein and mitogen-activated protein kinase in the rat hippocampus. *Neuroscience*, 107, 219-229.
- Sherer, M., Struchen, M.A., Yablon, S.A., Wang, Y et nick T.G. (2007). Comparison of indices of traumatic brain injury severity : Glasgow coma scale, length of coma an post-traumatic amnesia. *Journal of neurology, neurosurgery and psychiatry*, 79, 678-685.
- Société de l'assurance automobile du Québec. (2001). *Cadre de référence clinique pour l'élaboration de programmes de réadaptation pour la clientèle ayant subi un traumatisme cranio-cérébrale*. Montréal : Comité conseil de réadaptation en traumatologie.
- Soustiel, J. F. et Larisch, S. (2010). Mitochondrial damage : a target for new therapeutic horizons. *Neurotherapeutics*, 7, 13-21.
- Steiner, J. L., Murphy, E. A., McClellan, J. L., Carmichael, M. D. et Davis, J. M. (2011). Exercise training increases mitochondrial biogenesis in the brain. *Journal of applied physiology*, 111, 1066-1071.
- Strauss, E, Sherman, E.M.S. et Spreen, O. (2006). A compendium of neuropsychological tests. New York : Oxford university press.
- Sullivan, A. B., Scheman, J. Venesy, D. et Davin, S. (2012). The role of exercise and type of exercise in the rehabilitation of chronic pain : specific or nonspecific benefits. *Current pain and headache reports*, 16 (2), 153-161.
- Taglieri, C., Lombardo, E. et Feola, M. (2008). Prevention of left ventricular remodeling after myocardial infarction : efficacy of physical training. *Monaldi archives for chest disease*, 70, 51-58.
- Teasdale, T et Jennet, B. (1974). Assesment of coma and impaired consciousness. *The lancet*, 7872, 82-84.
- Thompson, H., Weir, S., Rivara, F. P., Sullivan, S. D., Salkever, D. et Mackenzie, E. (2012). Utilization and costs of health care following geriatric traumatic brain injury. *Journal of neurotrauma*, 29 (10), 1864-1871.
- Torpy, J.M. (2005). Head injury. *Journal of the American medical association*, 294 (12), 1580.
- Tsai, S. J., Hong, C. J., Liu, H. C., Liu, T. Y., Hsu, L. E. et Lin, C. H. (2004). Association analysis of brain-derived neurotrophic factor Val66Met polymorphisms with Alzheimer's disease and age of onset. *Neuropsychobiology*, 49, 10–12.
- Vallerand, R. J., et Hess, U. (2000). *Méthodes de recherche en psychologie*. Boucherville : Édition Gaëtan Morin.
- Vanier, M., et al. (1994). Evaluation of left visuospatial neglect : norms and discrimination power of the two tests. *Neuropsychologia*, 4, 87-96.
- Van Praag, H., Christie, B. R., Sejnowski, T. J. et Gage, F. H. (1999). Running enhances neurogenesis, learning, and long-term potentiation in mice. *Proceedings of the national academy of sciences*, 96 (23), 13427-13431.

- Vaynman, S. et Gomez-Pinilla, F. (2005). License to run : exercise impacts functional plasticity in the intact and injured central nervous system by using neurotrophins. *Neurorehabilitation and neural repair*, 19, 283-295.
- Vaynman, S., Ying, Z. et Gomez-Pinilla, F. (2004). Hippocampal BDNF mediates the efficacy of exercise on synaptic plasticity and cognition. *The European journal of neuroscience*, 20, 2580-2590.
- Vaynman, S., Ying, Z. et Gomez-Pinilla, F. (2003). Interplay between brain-derived neurotrophic factor and signal transduction modulators in the regulation of the effects of exercise on synaptic-plasticity. *Neuroscience*, 122, 647-657.
- Williams, M. A., Haskell, W. L., Ades P. A., Amsterdam, E. A., Bittner, V., Franklin, B. A., Gulanick, M., Laing, S. T. et Stewart, K. J. (2007). Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease : 2007 update : a scientific statement from the American heart association council on clinical cardiology and council on nutrition, physical activity, and metabolism. *Journal of the American heart association*, 116, 572-584.
- Windsor, P. M., Potter, J., McAdam, K. et McCowen, C. (2009). Evaluation of a fatigue initiative : Information on exercise for patients receiving cancer treatment. *Clinical oncology*, 21 (6), 473-482.
- Wise, E. K., Mathews-Dalton, C., Dickmen, S., Temkin, N., Machamer, J., Bell, K. et Powell, J. M. (2010). Impact of traumatic brain injury on participation in leisure activities. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 91, 1357-1362.
- Witgen, B. M., Lifshitz, J., Smith, M. L., Schwarzbach, E., Liang, S. L., Grady, M. S. et Cohen, A. S. (2005). Regional hippocampal alteration associated with cognitive deficit following experimental brain injury : a systems, network and cellular evaluation. *Neuroscience* 133, 1-15.
- Wu, C. W., Chen Y. C., Yu, L., Chen, H., Chauying J. J., Huang, A. M., Tsai, H. J., Chang Y. T. et Kuo, Y. N. (2007). Treadmill exercise counteracts the suppressive effects of peripheral lipopolysaccharide on hippocampal neurogenesis and learning and memory. *Journal of neurochemistry*, 103, 2471-2481.
- Yale, N. et Richard S. L. (2006). Le traumatisme cranio cérébrale léger : renseignements, conseils et recommandations. *Hôpital du Sacré-Cœur de Montréal*.
- Zampolini, M., Zaccaria, B., Toli, V., Frustaci, A., Franceschini, M. et GISCAR group. (2012). Rehabilitation of traumatic brain injury in Italy : a multi-centred study. *Brain injury*. 26 (1), 27-35.
- Ziino, C. et Ponsford, J. (2006). Selective attention deficits and subjective fatigue following traumatic brain injury. *Neuropsychology*, 20, 383-390.

**ANNEXE A****MESURE DE LA CAPACITÉ AÉROBIE (PROTOCOLE BALKE-WARE)**

Avant le test	Pendant le test	Après le test
<p><b>1.</b> S'assurer que tout l'équipement est accessible (cardiofréquence-mètre, brassard et sphygmomanomètre, échelle de Borg, eau, serviette).</p> <p><b>2.</b> S'assurer que le tapis d'exercice fonctionne bien.</p> <p><b>3.</b> Accueillir le participant et lui expliquer en détails le déroulement du test.</p> <p><b>4.</b> Noter la fréquence cardiaque au repos (FCR) et la pression artérielle (PA).</p> <p><b>5.</b> Noter le poids, la taille, l'âge et le sexe du participant.</p> <p><b>6.</b> Calculer la fréquence cardiaque maximale (FCM) à 75 % à l'aide de la formule (<math>208 - 0,7 \times \text{âge}</math>)</p> <p><b>7.</b> Pratiquer un bref échauffement pour les membres inférieurs.</p> <p><b>8.</b> Permettre au participant de s'habituer au fonctionnement du tapis d'exercice en le faisant marcher à 2 miles (3,2 kilomètres) à l'heure.</p> <p><b>9.</b> Avant de débiter le test, le participant doit être capable de marcher sans appuyer ses mains pour s'équilibrer.</p> <p><b>10.</b> Revoir la procédure et les instructions pour l'arrêt du test.</p>	<p><b>1.</b> Ajuster la vitesse du tapis d'exercice à 2 miles (3,2 kilomètres) à l'heure. La vitesse peut être augmentée jusqu'à 2,5 ou 3 miles (4 ou 4,8 kilomètres à l'heure) pour les clients en meilleure forme physique.</p> <p><b>2.</b> Démarrer le test avec une pente de 0 %.</p> <p><b>3.</b> Ajouter 1 % d'inclinaison à chaque minutes ou 2 % pour les participants en meilleure forme physique.</p> <p><b>4.</b> Noter la fréquence cardiaque et l'effort perçu (Échelle de Borg) à la fin de chaque palier.</p> <p><b>5.</b> Arrêter le test si :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• le participant atteint 75 % de sa FCM;</li> <li>• le participant demande verbalement d'arrêter le test;</li> <li>• le participant ne semble plus en contrôle (voir liste des signes précurseurs de risques).</li> </ul> <p><b>6.</b> Noter la fréquence cardiaque et la perception de l'effort atteinte à la fin du test.</p>	<p><b>1.</b> Ramener l'inclinaison du tapis d'exercice à 0 %.</p> <p><b>2.</b> Demander au participant de continuer de marcher pendant 4 minutes à la fin du test en notant la fréquence cardiaque et l'effort perçu (Échelle de Borg) à la fin de chaque palier. Noter la pression artérielle (PA) à la fin de la période de récupération.</p> <p><b>3.</b> Si le test est interrompu en raison d'un problème de santé, faire immédiatement descendre le participant du tapis d'exercice et noter ses signes vitaux.</p> <p><b>4.</b> Après la période de récupération, présenter un verre d'eau et une serviette au participant et lui demander s'il se sent bien.</p> <p><b>5.</b> Calculer le résultat (capacité aérobie) en utilisant la formule de calcul de l'American College Sport Medicine (ACSM).</p> <p><b>6.</b> Informer le participant de son résultat de manière compréhensible.</p>

\* Avant de faire passer ce test, un dépistage cardiovasculaire devra avoir été fait tel que mesuré par le questionnaire de participation à des activités physiques de santé.

\*\* Si les signes vitaux du participant ne sont pas revenus à des valeurs normales après la période de récupération, continuer la récupération pour une deuxième période de 4 minutes.

**ANNEXE B**

**TESTS D'ATTENTION SÉLECTIVE**



**ANNEXE C**

**TESTS D'ATTENTION PARTAGÉE**

# TEST DE BROWN-PETERSON

## AUDITORY CONSONANT TRIGRAMS, version adulte Tâche de Brown-Peterson

Nom : \_\_\_\_\_ Date : \_\_\_\_\_ Âge : \_\_\_\_\_

Stimulus	Nombre de départ	Délai (secondes)	Réponse	Nombre de consonnes correctes
QLX	-	0		
SZB	-	0		
HJT	-	0		
GPW	-	0		
DLH	-	0		
XCP	75	18		
NDJ	28	9		
FXB	194	36		
JCN	20	9		
BGQ	167	18		
KMC	180	36		
RXT	82	18		
KFN	47	9		
MBW	188	36		
TDH	51	9		
LRP	117	36		
ZWS	141	18		
PHQ	89	9		
XGD	91	18		
CZQ	158	36		

Nombre de consonnes correctes

0" délai \_\_\_\_\_

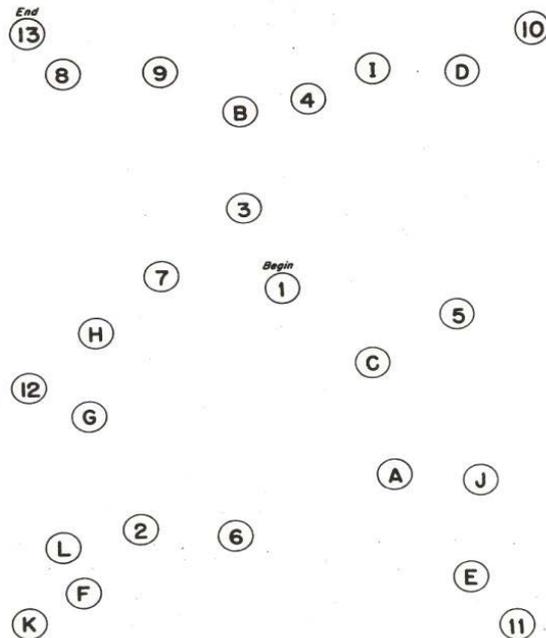
9" délai \_\_\_\_\_

18" délai \_\_\_\_\_

36" délai \_\_\_\_\_

Total \_\_\_\_\_

## TEST DU TRACÉ A-B



**ANNEXE D**

**L'ÉCHELLE DE FATIGUE DU *BARROW NEUROLOGICAL INSTITUTE***



**ANNEXE E**  
**TRADUCTION DU *BNI* DE L'ANGLAIS AU FRANÇAIS**

Nom : \_\_\_\_\_ Date : \_\_\_\_\_

Veillez indiquer dans quelle mesure accomplir l'activité de chaque énoncé ci-dessous représente un problème depuis votre accident. Ne sélectionnez qu'UN seul numéro entre 1 et 7 dans l'échelle ci-dessous pour produire votre réponse.

LÉGENDE :

0-1	2-3	4-5	6-7
Rarement un problème	Un problème occasionnel, mais non fréquent	Un problème fréquent	Un problème la plupart du temps

QUESTIONNAIRE :

N°	Question	Résultat / 7
1	À quel point est-ce difficile pour moi de conserver mon énergie pendant la journée?	
2	À quel point est-ce difficile pour moi de participer à des activités à cause de la fatigue?	
3	À quel point est-ce difficile pour moi de rester éveillé(e) durant la journée?	
4	À quel point est-ce difficile pour moi de compléter une tâche sans devenir fatigué(e)?	
5	À quel point est-ce difficile pour moi de rester alerte pendant mes activités?	
6	À quel point est-ce difficile pour moi d'augmenter mon niveau d'énergie lorsque je me réveille le matin?	
7	À quel point est-ce difficile pour moi de rester hors de mon lit durant la journée?	
8	À quel point est-ce difficile pour moi de rester alerte lorsque je ne suis pas impliqué(e) dans une activité?	
9	À quel point est-ce difficile pour moi de regarder quelque chose sans avoir la sensation de m'assoupir?	
10	À quel point est-ce difficile pour moi de terminer la journée sans devoir faire de sieste?	

11.	Veillez encercler votre niveau de fatigue habituel depuis votre accident :									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

**ANNEXE F**  
**FORMULAIRE DE CONSENTEMENT**



445 boul. de l'Université, Rouyn-Noranda, QC, CANADA, J9X5E4  
Tél: (819) 762-0971 Fax: (819) 797-4727

Comité d'éthique de la recherche de l'UQAT  
Projet approuvé : 4 juin 2009

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT  
POUR PARTICIPER À LA RECHERCHE INTITULÉE

**Effet de l'exercice aérobique sur la fatigabilité et l'attention chez les personnes ayant subi un traumatisme crânien.**

*Nom des chercheurs* : Patrice Voyer, B.Sc., étudiant à la maîtrise en sciences cliniques  
Nancy Julien, Ph.D., professeure à l'UQAT  
Jacques Bernier, M.Sc., M.Ps. neuropsychologue au Centre de réadaptation La Maison  
Annie Leclerc, étudiante au baccalauréat en kinésiologie à l'Université de Sherbrooke

*Durée du projet* : 1 an (septembre 2009 à septembre 2010)

*Financement* : Fondation de l'UQAT

---

**But de la recherche**

Les gens qui ont subi un traumatisme crânien sont fréquemment aux prises avec des difficultés cognitives (attention, mémoire, etc.) accompagnées de fatigue, ce qui diminue leur qualité de vie dans certaines activités ou situations. Cette recherche propose de vérifier l'effet de l'activité physique sur certaines fonctions cognitives, ainsi que sur la fatigue perçue chez des personnes ayant subi un traumatisme cranio-cérébral (TCC). Cette recherche pourrait mettre en évidence les implications cliniques de l'entraînement à l'effort cardiovasculaire dans la réadaptation de gens ayant subi un TCC.

Vous avez été invité(e) à participer à cette étude puisque que vous avez subi un traumatisme crânien qualifié de modéré ou sévère il y a plus de deux ans et que vous avez entre 18 et 65 ans.

Vous ne pouvez pas participer à cette recherche si vous souffrez ou avez un historique : d'angine de poitrine, d'infarctus du myocarde, de cardiopathie congénitale, d'hypertension artérielle (non contrôlée), d'insuffisance cardiaque, ou de maladie coronarienne. Vous devez aussi être en mesure de comprendre

des consignes verbales simples, ne pas avoir suivi un programme d'exercice aérobie pendant votre réadaptation et ne pas être enceinte ou en train d'allaiter.

### **Description globale de la participation à la recherche**

Votre participation à cette étude consiste à effectuer trois séances d'exercice aérobie par semaine, pendant 12 semaines. Chaque séance d'exercices durera environ 45 minutes. Si vous êtes pigé(e) pour faire partie du groupe traitement, vous aurez le choix d'effectuer votre entraînement en utilisant les exercices suivants : vélo stationnaire, simulateur elliptique, tapis roulant, simulateur d'escalier ou simulateur d'aviron. Si vous êtes pigé(e) pour faire partie du groupe témoin, nous vous demanderons de maintenir vos habitudes de vie pendant 12 semaines. Au terme de ces 12 semaines d'attente, vous aurez la possibilité de recevoir le traitement (exercice aérobie) si vous le désirez.

En plus de participer aux 12 semaines d'entraînement, ou d'être sur la liste d'attente, vous serez appelé(e) à participer à 4 rencontres d'évaluation : aujourd'hui, à la 6<sup>e</sup> semaine, à la 12<sup>e</sup> semaine, puis à la 24<sup>e</sup> semaine.

Si vous acceptez de participer à cette recherche, voici ce qui se passera :

- 1) Nous vous demanderons de signer le présent formulaire de consentement. Ensuite, une copie vous sera remise pour vos dossiers personnels (10 minutes).
- 2) Aujourd'hui, vous participerez à l'évaluation initiale. Cette évaluation consiste en un court questionnaire permettant d'évaluer la fatigue perçue, quatre tests cognitifs utilisant papier et crayon permettant d'évaluer l'attention sélective et l'attention partagée et finalement un test progressif de consommation maximale d'O<sub>2</sub> s'effectuant sur tapis d'exercices (2 heures).
- 3.1) Si vous faites partie du groupe traitement, vous conviendrez d'un horaire d'entraînement sur 12 semaines avec le kinésologue. Des endroits où vous pourrez faire vos séances d'entraînement aérobie gratuitement vous seront suggérés. En plus des séances d'entraînement, vous devrez

repasser les évaluations effectuées aujourd'hui dans 6, 12 et 24 semaines.

3.2) Si vous faites partie du groupe témoin, vous maintiendrez vos habitudes de vie pendant 12 semaines. Toutefois, vous devrez repasser les évaluations effectuées aujourd'hui dans 6, 12 et 24 semaines.

### **Description des inconvénients et de la gêne à participer à cette recherche**

Si vous faites partie du groupe recevant le traitement pendant 12 semaines, vous devrez être en mesure de vous déplacer au lieu d'entraînement trois fois par semaine pour effectuer un entraînement aérobie d'une durée de 40 à 45 minutes chaque fois. Vous ressentirez probablement des courbatures parfois désagréables, mais normales à la suite d'une séance d'exercices.

### **Description des avantages à participer à cette étude**

Des bénéfices physiologiques en lien avec l'entraînement aérobie sont à prévoir : amélioration des profils lipidiques, contrôle de la glycémie, diminution des risques de maladies cardiovasculaires, etc. En plus de ces bénéfices physiologiques, vous pourrez bénéficier gratuitement de locaux pour vous entraîner et de la supervision constante d'un professionnel de l'activité physique pendant votre participation. Vous contribuerez également à l'avancement des connaissances scientifiques.

### **Description des mesures et des engagements à la confidentialité**

La protection des renseignements personnels est assurée lors de la passation des tests, des prises de mesures ainsi que dans le traitement des données par une codification alphanumérique de votre identité. Les formulaires, questionnaires et tests seront conservés sous clé dans le bureau de la professeure Nancy Julien à l'UQAT. L'accès à votre dossier sera limité à Nancy Julien, Patrice Voyer et Jacques Bernier. Toutes ces personnes sont tenues de respecter les règles de confidentialité. Advenant la publication ou la présentation des résultats, en aucun temps votre identité ne sera dévoilée. Les données brutes de votre dossier seront conservées pendant 5 ans avant d'être détruites.

**Coûts et rémunération**

Votre participation à cette étude ne comporte aucun coût, et aucune compensation d'ordre monétaire n'est prévue.

**Commercialisation des résultats et/ou conflits d'intérêts**

Les résultats de la présente étude ne sont pas destinés à être commercialisés, et les chercheurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt.

**Diffusion des résultats**

Les résultats de ce projet de recherche seront diffusés sous forme d'un article scientifique, d'un mémoire de maîtrise et de présentations (orales et par affiche). Peu importe la forme de diffusion, il ne sera jamais possible de vous identifier.

Si vous le désirez, nous serons heureux de vous faire parvenir un résumé des résultats de l'étude lorsqu'ils auront été analysés. Veuillez indiquer si vous désirez recevoir un résumé :

Oui \_\_\_\_\_ Non \_\_\_\_\_

Veuillez nous indiquer l'adresse à laquelle vous désirez recevoir ce résumé :

---

---

---

**La participation à cette recherche est volontaire**

Votre participation à cette recherche est entièrement volontaire. Vous êtes libre de participer ou non et vous pouvez vous retirer à tout moment sans justification. Si vous exercez ce droit, cela ne modifiera en rien votre relation avec les chercheurs, ni les services auxquels vous avez droit.

**Pour tout renseignement supplémentaire concernant vos droits, nous vous invitons à vous adresser au :**

Comité d'éthique de la recherche impliquant des êtres humains  
UQAT  
Vice-rectorat à l'enseignement et à la recherche  
445, boul. de l'Université, Bureau B-309  
Rouyn-Noranda (Québec) J9X 5E4  
Téléphone : (819) 762-0971 poste 2252  
danielle.champagne@uqat.ca

**SIGNATURES**

\_\_\_\_\_  
Nom du participant ou tiers autorisé (lettres moulées)

\_\_\_\_\_  
Signature

\_\_\_\_\_  
Date

Ce consentement était obtenu par :

\_\_\_\_\_  
Nom du chercheur ou agent de recherche  
(Nom en lettres moulées)

\_\_\_\_\_  
Signature

\_\_\_\_\_  
Date

**QUESTIONS :**

Si vous avez d'autres questions plus tard et tout au long de cette étude, vous pouvez joindre :

Patrice Voyer au (819) 762-0971 poste 2143

Nancy Julien au (819) 762-0971 poste 2591

**ANNEXE G****REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DU DÉROULEMENT DE  
L'EXPÉRIENCE**

